

ÜBER DAS WIEDERERKENNEN VISUELLER MUSTER

vorgelegt von

Heribert Plonner
München 1980

ÜBER DAS WIEDERERKENNEN VISUELLER MUSTER

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Philosophie
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von

Heribert Plonner
Burgenlandweg 14
8200 Rosenheim

München 1980



Christoph & Michael
HOFBAUER
drucken + binden
Adalbertstrasse 18
8000 München 40

Referent: Prof. Dr. Kurt Müller

Korreferent Dr. phil. habil.
Wolfgang Marx

Tag der mündlichen Prüfung:
13.2.1980

Vorwort

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem Problem des visuellen "pattern recognition", das in den letzten Jahren zunehmendes Interesse der Forschung erfahren hat. Im ersten Teil der Arbeit wird ein hochkomplexes Experiment mit vier unabhängigen und fünf abhängigen Variablen geschildert, das über verschiedene spezielle Aspekte der Informations-Aufnahme und -Verarbeitung beim visuellen Wiedererkennen Aufschluß gibt. Der zweite, theoretische Teil der Arbeit greift über den engen Rahmen des Experiments hinaus. Er ist als Sachbuch konzipiert, das über die wichtigsten Teilprobleme des visuellen Wiedererkennens möglichst umfassend Aufschluß geben soll.

Mein Dank gilt Prof. Dr. Kurt Müller, der mich zu dieser Arbeit ermuntert und sie betreut hat und mir in Vorlesungen, Seminaren und im persönlichen Gespräch viele wertvolle Anregungen gegeben hat.

Rosenheim, im August 1979

H.P.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548319_0038

I n h a l t

1. Teil: EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG ÜBER DAS WIEDERERKENNEN KOMPLEXER VISUELLER MUSTER

	Seite
Zusammenfassung	1
Problemstellung	4
Die Methode des Versuchs	14
Versuchspersonen	14
Versuchsmaterial	14
Der Ablauf des Versuchs	17
Versuchsanordnung	20
Die Skalierung der abhängigen Variablen	21
Ergebnisse	25
Prüfzeit für ein identisches Muster	27
Prüfzeit für ein nichtidentisches Muster	34
Verwerfungsfehler	41
Annahmefehler	47
Zeichnerische Reproduktion	53
Unmittelbare und mittelbare Wirkungen	58
Diskussion I: Prüfzeit für identische und nicht- identische Muster	71
Theorie	73
Theoretische Ableitung der Einzelbefunde	76
Diskussion II: Annahme- und Verwerfungsfehler	81
Theorie	81
Kritik der Signal-Entdeckungs-Theorie	82
Informationskomponenten	84
Verteilung der Urteile bei ausschließlicher Beachtung der verfügbaren Informationskom- ponenten	87
Verteilung der Urteile bei zusätzlicher Be- achtung der Quote identischer und nicht- identischer Muster	89
Theoretische Ableitung der beobachteten Fehlerhäufigkeiten	91
Diskussion III: Reproduktionsergebnisse	100
Die Lernkurve	102
Darbietungsgeschwindigkeit	104

	Seite
Die Menge des Lernstoffs	106
Theorie	110
Anhang	112

2. TEIL: ZUR THEORIE DES WIEDERERKENNENDEN WAHRNEHMENS VISUELLER MUSTER

Zum Begriff des Wiedererkennens	119
Theorien des Wiedererkennens	125
Überblick über die Theorien des Wiedererkennens und seiner Teilaspekte	125
Ausgewählte "große" Theorien	129
Ältere assoziationspsychologische Anschauungen über die Grundlagen des Wiedererkennens	130
Gestaltpsychologische Theorie des Wiedererkennens	133
Hebbs neuropsychologische Theorie	137
Neissers Theorie der Informationsverarbeitung	140
Ausgewählte spezielle Theorien	143
Informationstheorie und Wahrnehmung	143
Theorien der Stimulus-Äquivalenz	147
Die Organisation des Wahrnehmungsfeldes	151
Zum Begriff der strukturellen Information und strukturellen Redundanz	151
Die Gestaltgesetze	154
Entdeckung von maskierten Punktmustern	158
Homogenisierungstendenzen	158
Ergänzungen	160
Erfassen von Strukturprinzipien	162
Tachistoskopisches Erkennen von Figuren	165
Die Rolle der räumlichen Orientierung	167
Ist der Organisationsmodus angeboren, ererbt oder individuell erworben?	169
Zusammenfassung und Folgerungen	172

	Seite
Lernen visueller Information	175
Was wird gelernt?	175
Erinnern und Reproduzieren als Indikator von Lernvorgängen	175
Der Lernaufwand als Indikator von Lernvorgängen	176
Unterscheidbarkeit und Transfer beim Wiedererkennen als Indikator von Lernvorgängen	181
Lernen und Bewußtheit	186
Lernen und Willkür	190
Quantitative Aspekte der Spurenbildung	192
Umfang und Dauer visueller Speicherung	194
Zusammenfassung und Folgerungen	196
Das Reaktivieren gespeicherter visueller Information	199
Die Bedeutung struktureller Übereinstimmung zwischen "altem" und "neuem" Muster für das Wiedererkennen	200
Seriellles oder paralleles Reaktivieren?	203
Zusammenfassung und Folgerungen	206
Sensorische Erfahrung und wiedererkennendes Wahrnehmen	208
Die Entwicklung der Wahrnehmung bei operierten Blindgeborenen	210
Die Entwicklung der Wahrnehmung bei Säuglingen	213
Wahrnehmungslernen bei Erwachsenen	219
Der Umfang des simultanen Auffassens	219
Anreicherung der Wahrnehmung	220
Wiedererkennen und Diskriminieren	227
Zusammenfassung und Folgerungen	231
Das momentane Überdauern der Wahrnehmung	236
Allgemeine Charakteristik des iconischen Behaltens	241
Sensorische Erfahrung und iconisches Behalten	241
Zusammenfassung und Folgerungen	241
Das kurzfristige visuelle Behalten	244
Allgemeine Charakteristik des kurzfristigen visuellen Behaltens	244
Introspektive Erscheinungsweise	244
Die Spanne des kurzfristigen visuellen Behaltens	246
Die Dauer des kurzfristigen visuellen Behaltens	253
Unterschiede zum langfristigen Behalten	255

	Seite
Die Wirkung der Erfahrung auf das kurzfristige visuelle Behalten	256
Zusammenfassung und Folgerung	259
Sensorische Einstellung und Aufmerksamkeit	262
Der Umfang der selektiven Aufmerksamkeit	265
Die Akzentuierung einstellungsrelevanter Inhalte	272
Die Wahrnehmung irrelevanter Inhalte	274
Wahrnehmung bei negativer Wahrnehmungseinstellung	278
Fehlwahrnehmungen halluzinatorischer Art	278
Verkürzung der Reaktionszeit und früherer Eintritt	281
Zusammenfassung und Folgerungen	283
Zur Physiologie des wiedererkennenden Wahrnehmens	288
Der anatomische Aufbau des visuellen ZNS	288
Das Verhalten einzelner kortikaler Zellen bei Darbietung spezifischer visueller Reize	291
Hirnläsionen, Wahrnehmen und Behalten	296
Die Schädigung visueller Bahnen	296
Schädigungen des Okzipitallappens	297
Schädigungen des Parietallappens	300
Schädigungen des Temporallappens	300
Schädigungen des Frontallappens	303
Die visuelle Agnosie als Folge nicht eindeutig lokalisierbarer Hirnschädigung	305
Elektrische Stimulierung der Hirnoberfläche und Wahrnehmung	307
Die physiologische Basis des langfristigen Behaltens	308
Chemische Substanzen als mögliche Träger gespeicherter Information	308
Synaptische Änderungen als mögliche Träger gespeicherter Information	309
Theoretische Folgerungen: Die zentralnervösen Grundlagen der visuellen Verarbeitung	313
Die zentralnervöse Grundlage der Organisation des Wahrnehmungsfeldes	313
Die Grundlage des visuellen Behaltens	320
Der Einfluß der Willkür auf die Wahrnehmung, das kurzfristige und das langfristige Behalten	327
Literatur	330

Zusammenfassung: Im vorliegenden Versuch waren fortlaufend labyrinthartige Muster auszusortieren, die zur Hälfte aus gleichen Standardmustern und zur Hälfte aus vielfältig abgeänderten Distraktoren bestanden und in weitgehend zufälliger Weise aufeinanderfolgten. Um den während des Sortierens erzielten Lernfortschritt gesondert messen zu können, mußte zwischendurch jeweils in regelmäßigen Abständen das Standardmuster aus dem Gedächtnis gezeichnet werden. In mehrfaktoriellen Versuchsplänen wurde die Prüfzeit für ein identisches Muster, die Prüfzeit für ein nichtidentisches Muster, die Häufigkeit von Fehlidentifizierungen identischer Muster (Verwerfungsfehler), die Häufigkeit von Fehlidentifizierungen nichtidentischer Muster (Annahmefehler) und die Reproduktionsleistung in Abhängigkeit von der Komplexität der Muster, der Ähnlichkeit der Distraktoren, der Möglichkeit eines direkten Vergleichs mit einem Standard-Vorgabemuster und der Anzahl der Durchgangsböcke untersucht. Die Ergebnisse bezüglich der Prüfzeiten und der Identifizierungsfehler wurden auf der Basis jeweils gleicher Reproduktionsleistungen miteinander verglichen, um Effekte, die auf unterschiedlichen Lernfortschritten in den einzelnen Gruppen beruhten, eliminieren zu können. Es zeigte sich, daß die Prüfzeiten nahezu proportional mit der Komplexität der Muster zunahmen, in negativ beschleunigter Weise mit dem Ausmaß der Abänderung der Distraktoren abnahmen, von der Möglichkeit eines direkten Vergleichs numerisch gesehen fast unbeeinflußt blieben und mit dem Grad der Übung (gemessen an der Reproduktionsleistung) in negativ beschleunigter Weise abnahmen. Die beiden Fehlerarten nahmen mit der Komplexität der Muster leicht zu und mit dem Grad der Abänderung und dem Grad der Übung stark ab. Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs unterband Verwerfungsfehler nahezu gänzlich und reduzierte die Anzahl der Annahmefehler stark.

Die Erklärung der Befunde geht davon aus, daß zunächst eine zentralnervöse Instanz retinale Einzelmeldungen gleicher Qualität (Helligkeit, Farbe) zusammenfaßt. Das organisierte Erregungsmuster, es wird als "sensorische Erregung" bezeichnet, aktiviert eine weitere zentralnervöse Instanz, der gleichzeitig Wahrnehmungs- und Speicherfunktion zukommt. Die Aktivität der Neuronen dieser Instanz - sie wird als "perzeptive Erregung" bezeichnet - ist einerseits von bewußter Wahrnehmung begleitet, führt andererseits aber zur Ausbildung neuronaler Interaktionswege zwischen gleichzeitig aktiven Zellen, die die Ausformung von Interaktionsverbänden von Zellen zur Folge hat. In diesen Interaktionsverbänden und der von ihnen gelieferten perzeptiven Erregung - sie wird, um ihre Modifizierung durch die Erfahrung zu betonen, nunmehr auch als "mnestische Erregung" bezeichnet - ist die visuelle Information über wahrgenommene Muster gespeichert.

Dem abtastenden Wandern des Blickes, das sich bei den Vpn beobachten ließ und das durch die Prüfzeiten indiziert wird, kommt nach dieser Auffassung eine Doppelfunktion zu: Es ermöglicht eine detaillierte Erfassung der strukturellen Information eines noch unbekannten Musters zum Zwecke des Erlernens und ermöglicht eine möglichst vollständige Reaktivierung bereits gespeicherter Information zum Zwecke des Identifizierens.

Die Signalentdeckungstheorie, die üblicherweise zur Interpretation von Identifizierungsfehlern herangezogen wird, wurde als untauglich und von falschen Voraussetzungen ausgehend kritisiert. Ihr Grundgedanke wurde jedoch übernommen: Die beobachtete Verteilung der beiden Fehlerarten wurde einerseits auf Prozesse zurückgeführt, die Informationen im menschlichen Bewußtsein verfügbar machen, und andererseits auf Prozesse, die dann auf der Basis dieser Informationen zu Entscheidungen führen. Die jeweils bewußte Information hängt dabei von der Art der Übereinstimmung zwischen sensorischer und mnestischer Erregung ab.

Eine abschließende, gesonderte Analyse der zeichnerischen Reproduktion ergab, daß die Reproduktionsleistung nahezu geradlinig mit der kumulierten Prüfzeit (sie entspricht der Gesamtdarbietungszeit in üblichen Lernexperimenten) anstieg. Die Steile des Lerngradienten erwies sich als abhängig von der Komplexität des Standardmusters, nicht aber von der Dauer der Einzelprüfzeiten.

PROBLEMSTELLUNG

Das Wiedererkennen früher erfahrener visueller Objekte erfuhr in den letzten beiden Jahrzehnten verstärktes Interesse der Forschung. Über die nicht beobachtbaren Grundlagen dieses Prozesses geben in erster Linie zwei Variablenpaare Aufschluß: die Wiedererkennungzeiten und die Fehlerhäufigkeiten. Dabei ist zwischen einer Identifizierungszeit für ein identisches Muster und der für ein Distraktormuster und auf Seiten der Fehler zwischen Fehler beim Identifizieren identischer Muster (engl.: "miss", "mission", "false negative error", hier im folgenden mit "Verwerfungsfehler" bezeichnet) und Fehler beim Identifizieren der Distraktoren (engl.: "false alarm", "comission", "false positive error", hier im folgenden mit "Annahmefehler" bezeichnet) zu unterscheiden.

Innerhalb der Fülle der Einzelprobleme dominiert die Frage nach der Bedeutung der spezifischen Vorerfahrung mit einem Zielmuster; setzt doch Wiedererkennen vorherige sensorische Erfahrung eines fraglichen Musters voraus. Konkret gefragt: Wie hängen beobachtbare Aspekte der Wiedererkennensleistung vom Ausmaß ab, in dem ein bestimmtes Zielmuster vorher erlernt wurde? Die Frage hat auch praktische Relevanz: Wie weit kann z.B. mangelhafte Übung erklären, daß ein Legastheniker beim Lesen mitunter Buchstaben verkennt?

Dinge des alltäglichen Lebens werden gewöhnlich rasch und fehlerlos erkannt. Das differenzierende Erkennen von gefälschten Bildern oder Geldscheinen, von Dingen also, die einem Original sehr ähnlich sind, erfordert demgegenüber ungleich höheren Prüfaufwand und geschieht vielfach nicht fehlerlos. Dies wirft die Frage auf, wie weit der Grad der Ähnlichkeit von nichtidentischen Vergleichsmustern das Identifizieren von Standard- und Distraktormustern beeinflußt.

Interesse verdient weiter die Frage des Einflusses, den der Grad der Komplexität eines Musters auf das Wiedererkennen ausübt. Verschiedentlich wurde die Vermutung geäußert, daß komplexere Muster besser zu unterscheiden sind, da sie einen größeren Grundbestand von Merkmalen aufweisen, hinsichtlich deren Unterschiede bestehen können. Dies würde mit der Tatsache übereinstimmen, daß etwa für Geldscheine äußerst detailreiche Muster verwendet werden. Andererseits werden für visuelle Signale, die sichere Unterscheidbarkeit gewährleisten müssen, wie z.B. Straßenverkehrsschilder, auch ganz einfache Muster herangezogen. Die Frage nach der Bedeutung der Komplexität kann nicht einfach gelöst werden.

Im Hinblick auf ihre alltägliche Bedeutung erfordert schließlich noch eine vierte Bedingung näheres Interesse: die Möglichkeit eines direkten Vergleichs. Oft wird die Frage der Identität eines zweifelhaften Gegenstandes durch direktes Vergleichen mit einem unzweifelhaften gelöst. So wird z.B. ein Kassier bei Bedarf einen zweiten Geldschein zum Vergleich heranziehen. Man kann demnach erwarten, daß eine solche Möglichkeit die Differenzierungsleistung zumindestens erhöht; es bleibt aber fraglich, ob sie sicher vor Identifizierungsfehler bewahrt.

Neben der Frage der direkten Wirkungen der genannten vier Bedingungen interessieren auch mögliche Wechselwirkungen. So ist z.B. denkbar, daß die Möglichkeit eines direkten Vergleichs nur dann eine höhere Erkennensleistung erbringt, wenn die zu differenzierenden Muster sehr ähnlich sind oder wenn das Zielmuster nur vage bekannt ist. Oder es wäre denkbar,

daß der Grad der Ähnlichkeit unterschiedliche Bedeutung für das Identifizieren hat, je nach dem ob einfachere oder komplexere Muster vorliegen. Eine Wechselwirkung wäre insbesondere auch zwischen Komplexität und Übung zu erwarten, da detailliertere Muster vermutlich langsamer erlernt werden.

Untersuchungen zu den genannten speziellen Problemen liegen vereinzelt vor. Zeitmaße für das Wiedererkennen komplexeres Muster geben jedoch nur Vandierplas & Garvin (1959). Die Autoren boten wiederholt Zufallsfiguren, die nach einer der Methoden von Attneave & Arnould (1956) hergestellt waren, zusammen mit einer sinnlosen Silbe als "Etikett". Im anschließenden Erkennenstest waren die Prototypen aus jeweils fünf ähnlichen Mustern herauszufinden; eine Hälfte der Testkarten mit den Alternativen enthielt dabei nur Distraktoren. Die Autoren fanden für das korrekte Erkennen nicht-identischer Muster eher höhere Erkennungszeiten als für das Identifizieren identischer Muster. Die Zeiten stiegen monoton mit der Komplexität der Muster an: Für 6-, 12- und 24-Punkt Muster ergab sich eine Identifizierungszeit von 2,9; 4 und 4,3 (identische Muster) bzw. von 3,6; 4,1 und 4,4 Sekunden (Distraktoren). Unterschiedliche Übung - die Prototypen wurden 2-16mal für je 2 Sek. geboten - hatte keinen nennenswerten Einfluß auf die beiden Prüfzeiten. Da die Möglichkeit eines direkten Vergleichs nicht vorgesehen wurde und die Ähnlichkeit der Distraktoren nicht variiert wurde, fehlen Vergleichsdaten. Experimente über das Suchen durch Buchstaben- und Ziffernlisten lassen jedoch erwarten, daß zumindestens die Identifizierungszeit für nicht-identische Muster mit dem Grad der Ähnlichkeit zwischen Zielmuster und Distraktoren steigt. So ist z.B. ein Q nur relativ schwer aus anderen runden Buchstaben herauszufinden, jedoch relativ schnell aus winkelligen (Neisser, 1963).

Die Abhängigkeit der Identifizierungsfehler von der einen oder anderen unabhängigen Variablen ist genauer untersucht worden. Faßt man zunächst die Wirkung der Komplexität ins Auge, so zeigt sich ein etwas inkonsistentes Bild. Vanderplas & Garvin fanden eine Zunahme der Verwerfungsfehler mit der Komplexität ihrer Zufallsformen. Die Rate der Annahmefehler blieb hingegen im wesentlichen unbeeinflußt. Price (1968) berichtet in einer Nachuntersuchung, in der er dieselben Zufallsfiguren verwendete und ebenfalls die Komplexität und das Ausmaß der Übung variierte, ähnliche Ergebnisse. Im Unterschied zu den beiden anderen Autoren verwendete er jedoch an Stelle von Mustern, die aus der Transformation des jeweiligen Standardmusters entstanden, gänzlich neue Zufallsformen als Distraktoren. French (1954) manipulierte den Grad der Komplexität mittels zufälliger Auswahl von ein bis zwölf Punkten aus einer Grundgesamtheit von 112 räumlichen Positionen, die einer Matrix mit kreisförmigem Umfang entstammten. Diese Punktmuster mußten während einer Übungsphase mit Namen amerikanischer Städte assoziiert werden, die dann während der Testdarbietung den Punktmustern zuzuordnen waren. Er fand, daß der Prozentsatz der Erkennensfehler (die beiden Fehlerarten werden bei der verwendeten Versuchsmethodik zwangsläufig konfundiert) mit der Anzahl der Punkte seines Zufallspunktmusters zuerst abnahm (1-7 Punkte) und dann wieder zunahm (8-12 Punkte). Der Befund widerspricht nicht unbedingt dem von Attneave (1955, 3. Exp.), der einen klaren Anstieg der Fehlerhäufigkeiten mit der Anzahl von Zufallspunkten fand, da Attneave insgesamt komplexere Muster (12-36 Punkte) verwendete. Bei diesem Versuch waren ähnlich wie bei French die Muster mittels Nennung eines während der Übungsperiode zugeordneten Buchstabens zu identifizieren.

Eine größere Ähnlichkeit der Distraktoren führt nach verschiedensten Befunden zu einer größeren Häufigkeit von Wiedererkennensfehlern beider Arten. Gibson & Gibson (1955) boten wiederholt Vpn-Gruppen eine sinnlose Strichzeichnung in Form eines Kringels. Beim anschließenden Test erhielten die Vpn vier Standardmuster vermischt mit 30 anderen Mustern, die hinsichtlich einer, zwei, drei oder mehr Dimensionen vom Standardmuster abwichen. Die kritischen Muster wurden eines nach dem anderen für jeweils drei Sekunden zur Identifizierung geboten, die Vpn jedoch nicht darüber informiert, ob ihr Urteil richtig oder falsch war. Die Häufigkeit der Annahmefehler war umso geringer, je unähnlicher die Distraktoren waren. Hinweise auf Verwerfungsfehler werden nicht gegeben. Eine vergleichbare Abhängigkeit der Annahmefehler zeigte sich auch in einem Versuch, bei dem Strichzeichnungen von in Gruppen angeordneten Gegenständen und Personen als Zielmuster verwendet und Rechts-Links-Vertauschungen, Streichungen kleiner Details, Größenänderung von Teilinhalten, Umgruppierungen und Substitutionen bei den Diskraktoren vorgenommen wurden (Mandler & Stein, 1974). Raser (1972) verwendet eine "Continuous recognition"-Aufgabe (das Pradigma stammt von Shepard & Teghtsoonian, 1961), um u.a. den Einfluß orthographischer Ähnlichkeit visuell gebotener Wörter auf die Annahmefehlerhäufigkeit zu prüfen. Die experimentelle Anordnung sieht dabei im wesentlichen eine längere Reihe von Items vor, die Wortpaare unterschiedlicher Ähnlichkeit enthält. Die Darbietung des ersten Wortes eines Paares gestattete jeweils eine Einschätzung der gewöhnlichen False-Alarm-Rate. Die Darbietung des zweiten, ähnlichen Wortes erfolgte nach einer gewissen Anzahl von intervenierenden Items; sie gestattete eine Einschätzung des Ähnlichkeitseffektes auf die Fehlerrate. Die Anzahl der Annahmefehler wuchs mit der akustischen und orthographischen Ähnlichkeit der Distraktoren. In einer Versuchsserie von Laughery et alii

(1974) sahen Vpn Zielpersonen in Dias oder im Film. Der Test erfolgte mittels einer Serie von Bildern, die Distraktoren unterschiedlicher Ähnlichkeit enthielten. Die Ähnlichkeit wurde in einem Experiment nach der Häufigkeit der Annahmefehler in einem vorhergehenden Experiment, in einem weiteren Experiment nach neun physikalischen Charakteristiken (z.B. Haarfarbe, Alter) und in einem dritten Experiment schließlich nach einer direkten Einschätzung bestimmt. Es zeigten sich teilweise im Bereich der Annahmefehler, teilweise im Bereich der Verwerfungsfehler Ähnlichkeitseffekte.

Interessante Parallelen weisen hier auch Generalisierungsexperimente jüngerer Datums auf. Bahrick, Clark & Bahrick (1967) boten 1-18mal Zeichnungen verschiedener Gegenstände. In einem anschließenden Erkennenstest mußten die Vpn diese Prototyp-Zeichnungen aus jeweils 11 Alternativen pro Gegenstand (1 Zielmuster, 10 Distraktoren) herausfinden. Die Distraktoren wiesen verschiedene Grade der Ähnlichkeit mit dem Zielmuster auf, die nach der Methode der gleicherscheinenden Intervalle (Edwards, 1957) festgelegt wurden. Gemessen wurde die Häufigkeit der Erkennensresponsen ("Identisch"-Entscheidungen) in Abhängigkeit vom Grad der Abweichung der Teststimuli. Die Autoren fanden, daß die Teststimuli umso seltener als Prototypen bezeichnet wurden, je unähnlicher sie diesen waren. Ferner zeigte sich, daß die Generalisierungsgradienten für die Abweichungsgröße "Null" auf einem umso höherem Niveau ansetzten und umso rascher und vollständiger abfielen, je mehr Trainingsdurchgänge die Vpn absolviert hatten. Die Befunde lassen sich ohne weiteres mit den bisherigen Ergebnissen in Beziehung setzen. Positive Erkennungsresponsen bei fehlender Abweichung zwischen Lern- und Teststimuli entsprechen

Annahmetreffern, ihr Ausbleiben Verwerfungsfehlern; positive Erkennensresponsen bei vorhandener Abweichung dagegen Annahmefehlern. Die Ergebnisse lassen sich demnach dahingehend kennzeichnen, daß die Häufigkeit der Annahmefehler mit der Ähnlichkeit der Distraktoren abnimmt, und ferner, daß Verwerfungsfehler und Annahmefehler umso seltener sind, je länger die Prototypen eingeübt wurden. Hiermit übereinstimmende Ergebnisse erhielten auch Ellis & Feuge (1966) bezüglich der Generalisierung sinnloser Zufallsfiguren. Bei diesem Experiment wurde jedoch auf die Darbietung von Standard-Mustern während der Testphase verzichtet. Postman (1951) bot 24 sinnlose Sechsbuchstaben-Wörter. Im anschließenden Erkennenstest wurden 48 Stimuli geboten, aus denen genau 24 auszuwählen waren. Es waren jedoch nur sechs Items wirklich Standarditems, die anderen enthielten nur 5, 4, 3 oder durchschnittlich 1,4 gemeinsame Buchstaben mit den Zielitems. Es zeigte sich gleichfalls eine Abnahme der Erkennensresponsen mit fallender Ähnlichkeit der Teststimuli. Da etliche Vpn die Substitution eines Teils der Zielstimuli nicht bemerkten, liegen zumindestens für diese Vpn echte Annahmefehler vor. Von hier aus eröffnet sich das weite Feld der Stimulusgeneralisierungs-Experimente im Rahmen des klassischen und instrumentellen Konditionierens (Überblick; Razran, 1949). Da aber, worauf besonders Prokasy & Hall (1963) aufmerksam machen, bei diesen Experimenten kaum entscheidbar ist, ob ein Organismus zwei Vorkommnisse (den konditionierten Stimulus und den Generalisierungsstimulus) unterscheidet und trotzdem mit derselben Reaktion antwortet oder die beiden Stimuli tatsächlich nicht unterscheiden kann oder aber auf Aspekte eines vom Experimentator gesetzten Vorkommnisses reagiert, die dieser nicht beabsichtigt hat, seien sie hier ausgeklammert.

Sensorische Übung führt nach weitgehend übereinstimmenden Befunden zu einer Reduzierung beider Fehlerarten. Auf die entsprechenden Befunde von Bahrick et alii wurde bereits hingewiesen. Vanderplas & Garvin fanden in ihrem Versuch einen leichten, nichtsignifikanten Trend der Annahme- und Verwerfungsfehler, mit dem Ausmaß der Übung anzuwachsen. Price's Daten zeigen dieselbe Tendenz deutlicher ausgeprägt. Elliot, Wills, & Goldstein (1973) fanden, daß weiße Vpn, die an einem Diskriminationstraining mit orientalischen Gesichtern teilnahmen, bessere Leistungen in einem nachfolgenden Test mit orientalischen Gesichtern erzielten als Vpn, die keine Übung oder Übung mit weißen Gesichtern erfuhren. Interesse verdienen hier auch Versuche über die Diskrimination relativer Unterschiede als Folge kontrollierter Übung. E. Gibson (1953, 1969) gibt hier einen Überblick. In diesen Untersuchungen bilden die Häufigkeit der Übung und andere Lernfaktoren, wie z.B. Art und Häufigkeit der Verstärkung die unabhängigen Variablen, während die Genauigkeit einer Schätzung, verglichen mit einem physikalischen Standard und ermittelt mit psychophysischen Methoden, als abhängige Variable fungiert. Gibsons Überblick zeigt, daß in der Regel die Diskriminationsgenauigkeit mit dem Ausmaß der Übung wächst. Mit anderen Worten, Lernen führt zu einer Änderung vom grob unterscheidenden zum fein unterscheidenden Wahrnehmen. Da ähnliche Muster schwerer zu unterscheiden sind, impliziert dieser Befund gleichfalls eine Reduzierung der Fehlerhäufigkeit mit der Übung.

Befunde über die Wirkung einer direkten Vergleichsmöglichkeit mit einem Zielmuster fehlen.

Die zitierten Versuche lassen in der Regel in methodischer Hinsicht vieles zu wünschen übrig. Zu

kritisieren ist zunächst, daß vielfach die unabhängigen Variablen, insbesondere die Zielmuster-Distraktor-Ähnlichkeit, nur mangelhaft quantifiziert wurden. So wirft z.B. der Versuch von Vanderplas & Garvin die Frage auf, ob nicht Komplexität der Muster und Ähnlichkeit der Distraktoren konfundiert wurden. Die Autoren verwendeten Standardmuster, die durch Verbindung zufällig angeordneter Punkte und Ausfüllen der dazwischen liegenden Fläche entstehen. Durch Heranziehen unterschiedlich vieler Eckpunkte lassen sich Muster unterschiedlicher Komplexität herstellen. Als Distraktoren wurden ähnliche Muster verwendet, die durch zufälliges Verschieben der Eckpunkte der jeweiligen Prototypen und Ausfüllen der dazwischen liegenden Fläche entstehen. Es ist nun aber denkbar, daß diese Abänderungen die Gesamtstruktur eines einfachen Musters relativ stärker ändern als die eines komplexen Musters, weil bei komplexeren Mustern schon mehr "Grobstruktur" vorgegeben ist.

Weiter werden vielfach nur unvollständige Angaben über die prinzipiell interessierenden vier abhängigen Variablen gemacht, teils weil sie nicht für wichtig erachtet werden, teils weil dies die gewählte Methodik nicht erlaubt. Ins Gewicht fällt insbesondere, daß mitunter parallele Angaben über Identifizierungszeiten und Identifizierungsfehler fehlen. Kristofferson et alii (1973) haben demgegenüber in ihrer "trade-off"-Hypothese darauf aufmerksam gemacht, daß Vpn möglicherweise ihre Fehlerhäufigkeiten auf Kosten der Prüfzeiten senken können und umgekehrt. Entsprechend wären Angaben über jeweils beide Kategorien wünschenswert.

Die Befunde legen ferner den Verdacht nahe, daß zumindestens der Effekt der Komplexität eines Musters

komplizierterer Natur ist. Es ist denkbar, daß sich die Komplexität auf die Erkennensleistung zum einen dadurch auswirkt, daß sie den Umfang der beiden Informationssätze - des neu rezipierten und des gespeicherten alten - bestimmt, die beim Identifizieren miteinander in Beziehung gesetzt werden, zum anderen aber auch dadurch, daß sie die relative Vollständigkeit des gespeicherten Informationssatzes bestimmt, da nach aller experimenteller Erfahrung komplexeres Lernmaterial langsamer erlernt wird. Über die Richtigkeit dieser Überlegung kann jedoch nur ein Versuch Klärung schaffen, der die Menge der jeweils gespeicherten Information gesondert kontrolliert.

Der vorliegende Versuch will über den Einfluß der Komplexität, der Ähnlichkeit der Distraktoren und des Lernaufwands auf das Wiedererkennen visueller Muster größere Klarheit schaffen. Er will ferner den Einfluß der Möglichkeit eines direkten Vergleichs untersuchen. Um dies zu ermöglichen, wird ein neuartiges Muster verwendet, das sich hinsichtlich seiner Komplexität und der Ähnlichkeit der Distraktoren genau quantifizieren läßt. Ferner werden Übungseffekte mittels eingeschalteter Reproduktionsversuche gesondert kontrolliert. Über die Bestimmung der funktionalen Beziehungen hinaus soll ferner versucht werden, neue Aufschlüsse über die Informationsverarbeitungsprozesse beim Wiedererkennen von Mustern zu gewinnen.

DIE METHODE DES VERSUCHS

Der Versuch sieht im wesentlichen eine Sortieraufgabe vor. Die Vpn erhalten hierzu eine größere Anzahl von Karten, auf denen ein kompliziertes sinnloses Muster aufgezeichnet ist. Dieses Muster ist etwa bei der Hälfte der Karten mit einem flüchtig bekanntem Standardmuster identisch, bei der anderen Hälfte der Karten dagegen nur ähnlich. Die Aufgabe der Vpn besteht nun zunächst einmal darin, die Karten so genau und so schnell wie möglich in zwei Gruppen auszusortieren. Weiter erhalten die Vpn Anweisung, zwischendurch in regelmäßigen Abständen das Standardmuster aus dem Gedächtnis zeichnerisch zu reproduzieren. Im einzelnen wurde der Versuch wie folgt durchgeführt.

Versuchspersonen

Als Versuchspersonen dienten 72 15- bis 30-jährige Oberschüler, Studenten und junge Akademiker beiderlei Geschlechts.

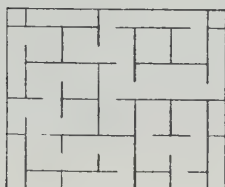
Versuchsmaterial

Abb. 1a zeigt das im Versuch verwendete Standardmuster, das gegenüber "natürlichen" Reizgegenständen wichtige Vorzüge aufweist:

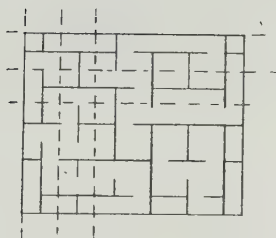
1. Die Vpn besitzen keine spezifische Vorerfahrungen mit diesem Muster.

Abb. 1. Das Ausgangsmuster, sein Aufbau und die Möglichkeiten seiner Abänderung

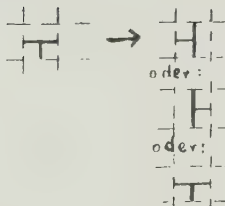
a,



b,



c,



2. Es lassen sich durch voneinander unabhängige Abänderungen Variationen herstellen, die in gleichmäßiger Abstufung mehr oder weniger stark vom Originalmuster abweichen: Das Muster ist - unmerklich für die Vpn - aus 30 zusammenhängenden, T-förmigen Zeichen aufgebaut, die ihrerseits aus drei gleichlangen Armen bestehen (Abb. 1b). Abb. 1c veranschaulicht die Art möglicher Abänderungen. Um Stelleneffekte auszuschließen, wurde im Rahmen der Versuchsanordnung dafür gesorgt, daß jede Vp in zufälliger Reihenfolge jeweils alle möglichen Varianten in Bezug auf abgeänderte Stellen und Art der Änderung erhält.

3. Das Muster läßt sich teilen. Dadurch lassen sich Reizgegenstände unterschiedlichen Informationsgehalts herstellen.

4. Mehr oder weniger vollständige zeichnerische Reproduktionen des Musters lassen sich relativ leicht hinsichtlich ihrer Vollständigkeit quantifizieren.

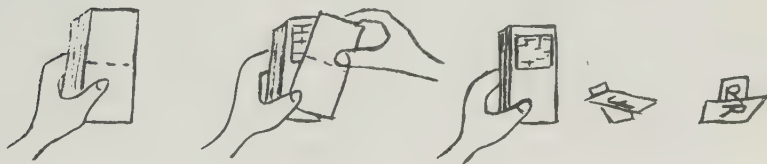
Auf eine Parallelserie mit einem anderen Standardmuster wurde verzichtet, da die Ausgangslage für jedes der 30 T-Zeichen des Standardmusters per Zufall festgelegt wurde. Die Repräsentativität des resultierenden Musters für die Grundgesamtheit möglicher Muster dieser Art schien dadurch hinreichend gewährleistet.

Technisch gesehen wurde das Standardmuster und seine Varianten zunächst mit Bleistift auf Millimeterpapier gezeichnet. Die Zeichnungen wurden so photokopiert, daß das schwache Millimeterraster verschwand. Das Muster wurde dann mit einem 0,7 Millimeter Stift in schwarzer Tusche sorgfältig nachgezogen. Die resultierenden Zeichnungen wurden ausgeschnitten und auf die obere Hälfte von 10x5 cm großen Kartonkärtchen geklebt; die Größe des gezeichneten Musters betrug dabei etwa 43x35 mm.

Der Ablauf des Versuchs

Der Versuch wurde damit begonnen, daß die Vpn das jeweilige Standardmuster eine Minute lang mit der Aufforderung vorgelegt bekamen, es sich möglichst gut einzuprägen. Anschließend erhielten sie zwei Instruktionspäckchen mit zusammen fünf identischen und fünf nicht-identischen Karten, die in der üblichen, im folgenden beschriebenen Weise auszusortieren waren.

Der eigentliche Versuch wurde nun im wesentlichen so durchgeführt, daß die Vpn jeweils fortlaufend Päckchen mit fünf von einem Deckblatt verdeckten Karten erhielten, die sie auf zwei Haufen - identische und nicht-identische Muster - aussortieren mußten. Durch entsprechende Anweisung wurde sichergestellt, daß alle Vpn die Karten in gleicher Weise handhabte, so daß jeweils immer nur eine kritische Karte sichtbar war:



Die Päckchen sind - unmerklich für die Vpn - nach folgendem System zusammengestellt: Jedes Päckchen enthält ein, zwei, drei oder vier identische und vier, drei, zwei oder ein nichtidentisches Muster in zufälliger Reihenfolge. Die Anzahl der identischen und nichtidentischen Muster ist aber dergestalt festgelegt, daß immer vier Päckchen zusammen einen Block bilden, in

dem das erste und vierte Päckchen zusammen sieben nicht-identische und drei identische, das zweite und dritte Päckchen aber zusammen drei nichtidentische und sieben identische Muster enthalten. Ein Block zu jeweils vier Päckchen enthält demnach zusammen jeweils zehn identische und zehn nichtidentische Muster. Zählt man jeweils die für das erste und vierte Päckchen und die für das zweite und dritte Päckchen benötigte Zeit zusammen, so ergeben sich zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten, aus denen sich leicht die für ein Standard- und für ein Distraktormuster in den zehn Einzelvergleichen durchschnittlich benötigte Identifizierungszeit errechnen läßt. Durch die Zuordnung des jeweils ersten zum jeweils vierten Päckchen ist sichergestellt, daß bei systematischer Änderung der Prüfzeiten nicht eine der beiden Variablen systematisch bevorzugt oder benachteiligt wird.

Die Vpn wurden angewiesen, während des Abwerfens die Kärtchen umzudrehen, so daß kein direkter Vergleich mit dem jeweils vorangehend geprüften Muster möglich war. Die Karten waren auf der Rückseite deutlich durch ein "R" (für "richtig") oder "F" (für "falsch") hinsichtlich ihrer Identität gekennzeichnet. Nach dem Aussortieren der fünf Karten eines Päckchens mußten sich die Vpn jeweils die Karten, die sie falsch zugeordnet hatten, noch einmal vornehmen und sich im direkten Vergleich mit dem Standardmuster von der Art ihres Fehlers überzeugen. Nach der Kontrolldurchsicht erhielten die Vpn das nächste Päckchen und so fort. Nach jeweils vier Päckchen wurde das Aussortieren unterbrochen, und die Vpn mußten versuchen, das Standardmuster aus dem Gedächtnis zu reproduzieren. Sie erhielten dazu Bleistift, Radiergummi und Kärtchen aus Millimeterpapier, auf denen bereits die Umrandung des Standardmusters eingezeichnet war.

Nach jeweils 18 Päckchen wurde der Versuch für fünf Minuten unterbrochen, um dem V1 Gelegenheit zu geben, die Kärtchen neu zu mischen und neu zusammenzustellen, da sich jeweils nur 45 Distraktoren eines Typs herstellen ließen. Anschließend wurde der Versuch in der gewohnten Weise fortgeführt. Nach 72 Päckchen (360 Karten, 18 Durchgangsböcke) wurde der Versuch abgebrochen. Ein beträchtlicher Teil der Vpn schaffte es bis dahin nicht, das Standardmuster vollständig zu reproduzieren. Der schematische Ablauf des Versuchs ist im folgenden noch einmal zusammengefaßt:

Instruktion:	1 Min. Einprägen des Standardmusters
	Aussortieren: 3F + 2R
	2F + 3R
Eigentl. Versuch:	4F + 1R
	1F + 4R
1. Durchgangsblock	1. Zeichnung
	2F + 3R
	3F + 2R
	3F + 2R
	2F + 3R
2. Durchgangsblock	2. Zeichnung
	1F + 4R
	4F + 1R
	:
	:
	4F + 1R
	2F + 3R
5. Durchgangsblock	5. Zeichnung
	- 1. Pause -
	1F + 4R
	3F + 2R
	:
	:
	3F + 2R
	1F + 4R
18. Durchgangsblock	18. Zeichnung
	2F + 3R
	4F + 1R

Die Vpn wurden angewiesen, in erster Linie möglichst fehlerfrei auszusortieren, in zweiter Linie aber auch darauf zu achten, dies möglichst schnell zu tun.

Der V1 stoppte während des Versuchs jeweils die Zeit vom Abheben des Deckblattes eines Päckchens bis zum Abwerfen der letzten kritischen Karte und notierte ferner die Anzahl der Fehler beiden Typs.

Versuchsanordnung

Die 72 Vpn absolvierten den Versuch in der beschriebenen Weise. Die Anzahl der jeweils absolvierten Durchgangsböcke bildet eine der unabhängigen Variablen des Versuchs. Die weiteren unabhängigen Variablen des Versuchs werden dadurch eingeführt, daß verschiedene Gruppen der Vpn jeweils Serien mit Mustern verschiedenen Typs unter teilweise unterschiedlichen Versuchsbedingungen erhalten. Dazu werden die 72 Vpn auf $2 \times 2 \times 3 = 12$ Untergruppen zu je 6 Vpn aufgeteilt. Die Untergruppen entstehen durch systematische Variation folgender Versuchsbedingungen.

Eine erste Gruppe erhält als Standardmuster das bereits beschriebene Muster mit 30 Feldern, eine zweite Gruppe eines mit 15 Feldern. Um eine genaue Halbierung der Informationsmenge für die zweite Gruppe zu erreichen, wird das Standardmuster der ersten Gruppe halbiert, und die beiden Hälften je einer Hälfte der Vpn der zweiten Gruppe geboten.

Bei einer ersten Gruppe werden als Distraktoren Muster verwendet, bei denen eines der 30 bzw. 15 Teilzeichen gegenüber dem Standardmuster, bei einer zweiten Gruppe zwei und bei einer dritten Gruppe vier T-Zeichen abgeändert werden. Es werden jeweils 45 abgeänderte Muster für jede Gruppe hergestellt. Im Falle der halbier-

ten Muster ist dies die maximale Zahl möglicher Änderungen. Im Falle der ganzen Muster wurden von den 90 möglichen Abänderungen 45 zufällig ausgewählt. Es wurde dabei jedoch darauf geachtet, daß jedes Feld wenigstens einmal, nicht öfter aber als zweimal abgeändert wurde. Abb. 2 zeigt Beispiele resultierender Distraktoren.

Eine erste Gruppe hat während des ganzen Versuchs - ausgenommen beim Zeichnen und in den Pausen - ein Standardmuster vor sich liegen und kann jedes kritische Muster nach Bedarf direkt mit diesem Muster vergleichen. Eine zweite Gruppe hat nur beim Aussortieren der beiden Instruktionspäckchen das Standardmuster vor sich liegen; während des eigentlichen Versuchs ist es unsichtbar, ausgenommen zum Zwecke der Nachkontrolle.

Skalierung der abhängigen Variablen

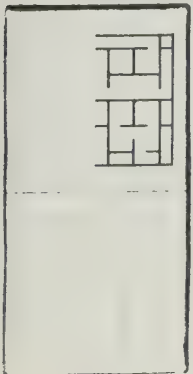
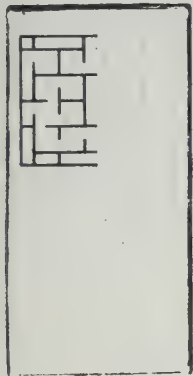
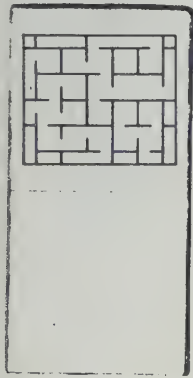
Aus den Zeiten, die für das Aussortieren der einzelnen Päckchen benötigt wurden, werden für jede V_p die durchschnittlichen Prüfzeiten für ein identisches und ein nichtidentisches Muster in einem Durchgangsblock berechnet. Weiter wird für jede V_p die Gesamtzahl der Annahme- und Verwerfungsfehler in den einzelnen Blöcken festgestellt. Schließlich wird die Reproduktionsleistung für die Zeichnungen in den einzelnen Blöcken ermittelt. Dabei wurde nur darauf geachtet, ob die einzelnen Teile des Standardmusters hinsichtlich ihrer Struktur richtig wiedergegeben wurden. Es wurde also nur auf die Anordnung der Linien geachtet, nicht aber, ob sich hinsichtlich ihrer Größe und genauen Lage richtig gezeichnet wurden. Um eine erwartungsfreie Skalierung der nicht immer völlig eindeutig bewertbaren Zeichnungen zu ge-

währleisten, wurde diese Auswertung nicht vom Experimentator selbst, sondern von einer dritten Person vorgenommen. Als Einheit der Reproduktionsleistung wurde der kleinstmögliche Linienabschnitt - er entspricht einem Arm eines T-Zeichens - gewählt. Im weiteren wurde eine Zufallskorrektur angewandt, die zufällige Reproduktions-"Treffer" rechnerisch eliminieren sollte. Im einzelnen erhält dabei jeder Arm eines T-Zeichens, der richtig reproduziert wurde, einen Punkt, nicht reproduzierte Arme erhalten null Punkte, für Linienstücke, die im Standardmuster nicht vorhanden waren, werden dagegen drei Punkte abgezogen. (Eine Person, die ohne ausreichende Kenntnis möglichst viel zeichnet, wird rein zufällig in drei von vier Fällen einen richtigen Arm zeichnen, da auf drei Arme jeweils eine Lücke ohne Arm trifft.) Abbildung 3 zeigt die 18 aufeinanderfolgenden Zeichnungen einer Vp mit den zugeteilten Reproduktionspunkten.

Abb. 2 . Die Lernmuster und Beispiele abgeänderter Muster in den verschiedenen Versuchsgruppen (verkleinert)

Lernmuster:

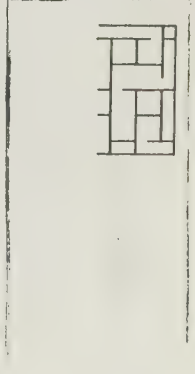
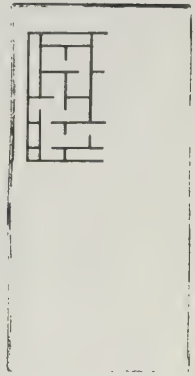
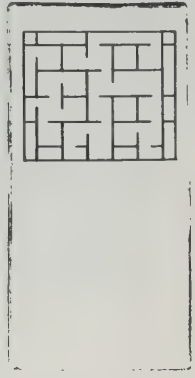
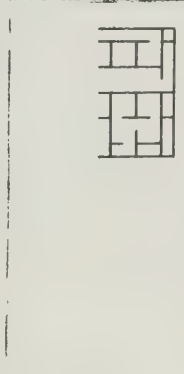
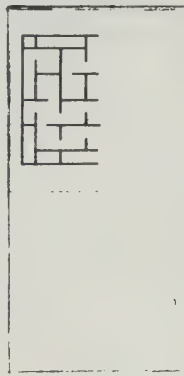
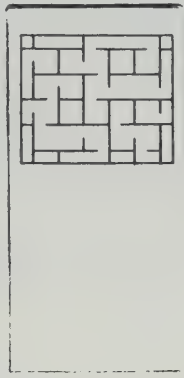
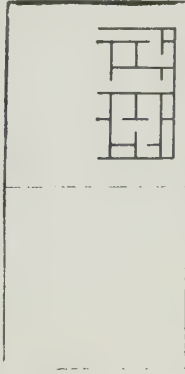
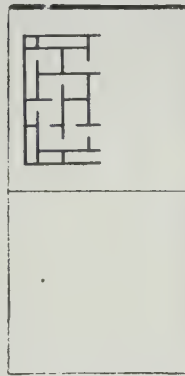
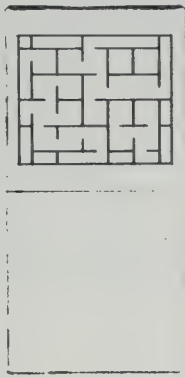
Abgeänderte Muster:



Ganzes Muster

Halbes Muster

1 Teilzeichen geändert 2 Teilzeichen geändert 4 Teilzeichen geändert



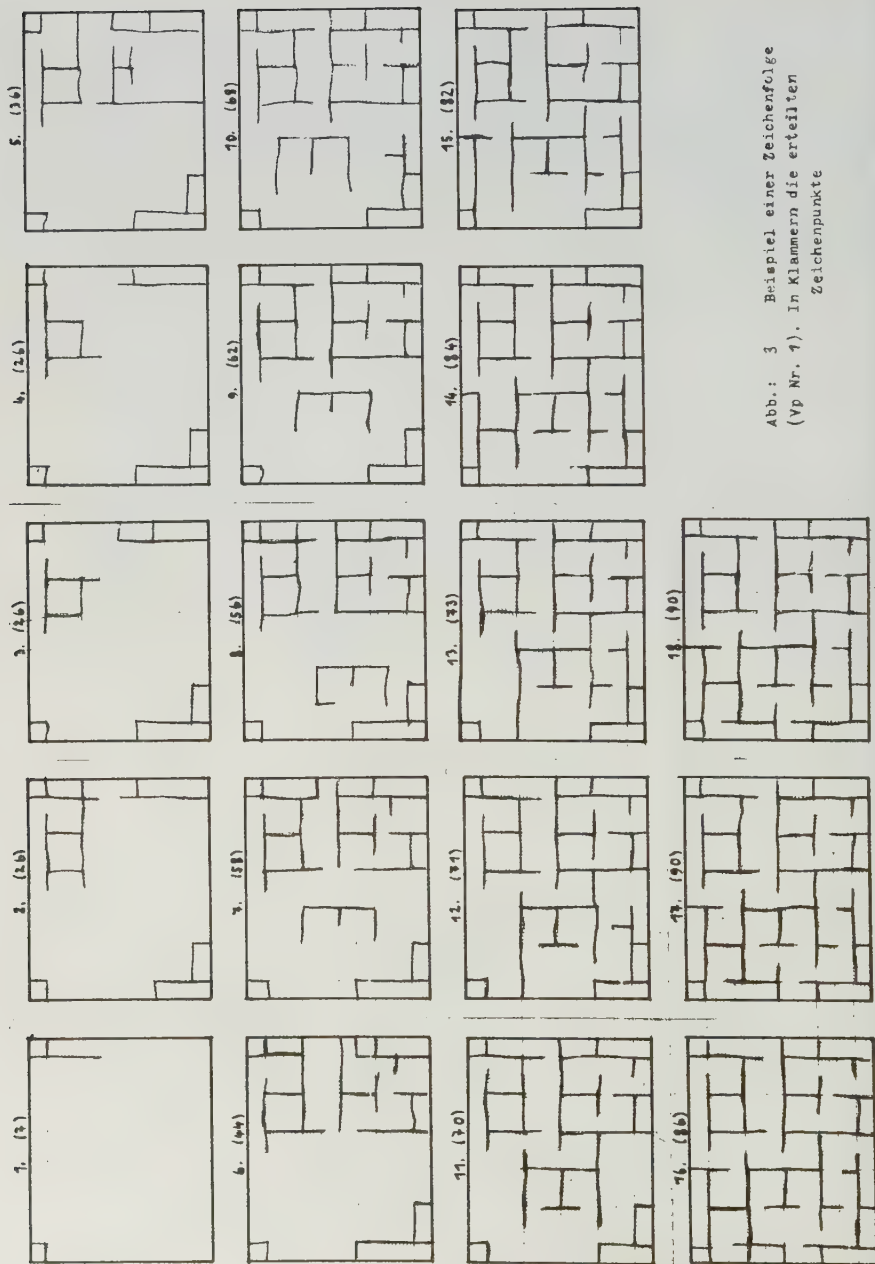


Abb.: 3 Beispiel einer Zeichenfolge
(Vp Nr. 1). In Klammern die erteilten
Zeichenpunkte

ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Versuchs sind in den Abbildungen 4 - 8 wiedergegeben. Es wurden dabei die Meßwerte nach den Merkmalsausprägungen jeweils zweier unabhängiger Variablen zusammengefaßt. Die gleichzeitige Untergliederung nach den Merkmalsausprägungen der jeweils beiden anderen Variablen, die sich gemäß der vierfaktoriellen Versuchsanordnung ergeben, wurde nicht berücksichtigt.

Zur statistischen Absicherung der Ergebnisse wurden fünf Varianzanalysen durchgeführt, deren Resultate den Abbildungen beigelegt sind. Statistisch gesehen liegen hier fünf (entsprechend den fünf abhängigen Variablen) vierfaktorielle Experimente mit paralleler Versuchsanordnung vor, die jeweils wiederholte Messungen an denselben Elementen (V_{pn}) bezüglich eines Faktors, nämlich der Anzahl der Versuchsdurchgänge, vorsehen. Die varianzanalytische Behandlung der Ergebnisse setzt Homogenität der Varianzen voraus, die sich für die V_{pn} innerhalb einer einzelnen faktoriellen Anordnung und für die Wechselwirkungen Versuchsdurchgänge mal Personen innerhalb einer einzelnen faktoriellen Anordnung ergeben. Da diese Voraussetzung nicht erfüllt war, wurden die Rohwerte transformiert und dadurch befriedigende Ausgangsdaten für die Varianzanalysen geschaffen. Dabei wurde im Falle der Prüfzeiten eine Vierte-Wurzel-, im Falle der Fehler eine Dritte-Wurzel- und im Falle der Zeichenpunkte eine Zweite-Wurzel-Transformation durchgeführt. Leider konnte für die Verwerfungsfehler keine Transformation gefunden werden, die die Varianz für alle Gruppen homogenisiert hätte, da in der Versuchsanordnung ohne direkte Vergleichsmöglichkeit eine beträchtliche Anzahl von Fehlern resultierte,

während Verwerfungsfehler in der Parallelgruppe mit Vorlage fast gänzlich ausblieben. Box (1953) hat gezeigt, daß die Verteilung des F-Verhältnisses, entgegen früherer Auffassung, bei der Varianzanalyse verhältnismäßig wenig durch Unterschiede der Varianzen beeinflusst wird, die als experimenteller Fehler zusammengefaßt werden. Eine Varianzanalyse, die zur Kontrolle auf die 36 Vpn beschränkt wurde, die ohne Vorlagemuster auskommen mußten, erbrachte denn auch nur geringfügig verschiedene F-Werte für die fraglichen Quellen der Variation (A, B, AB, D, AD, BD, ABD).

Die Signifikanzprüfung der innerhalb der einzelnen Vpn im Gefolge der fortlaufenden Übung auftretenden Effekte mit den üblichen Freiheitsgraden setzt zusätzlich voraus, daß die Kovarianzen zwischen Paaren der Beobachtung für alle 18 Stufen des Faktors "Anzahl der Durchgangsböcke" konstant sind. Da fraglich ist, ob diese Voraussetzung erfüllt ist, wurde nach dem Vorschlag von Greenhouse & Geisser (1959) vergleichsweise nur die Anzahl der Freiheitsgrade um den Beitrag des Faktors "Anzahl der Durchgänge" reduziert, d.h. also an Stelle von 17 bzw. 34 und 1020 Freiheitsgraden nur 1 bzw. 2 und 60 Freiheitsgrade berücksichtigt. Dieses Verfahren irrt nach Winer (1962) in der Hinsicht, daß der kritische F-Wert etwas stärker als nötig erhöht wird und dadurch zuwenig signifikante Entscheidungen erbringt. In den Signifikanztabellen wurden die F-Werte, die auch bei (über-)vorsichtiger Prüfung signifikant sind, durch einfaches (5%) bzw. doppeltes (1%) Unterstreichen mittels durchgehender Linien gekennzeichnet, während bei den F-Werten, die nur bei gegebener Homogenität der Kovarianzen signifikant wären, unterbrochene Linien verwendet wurden.

Prüfzeit für ein identisches Muster

Gegenstände des alltäglichen Lebens werden normalerweise mit einem einzigen Blick identifiziert, was nur Sekundenbruchteile erfordert. Die hier beobachteten relativ langen Prüfzeiten kommen demgegenüber dadurch zustande, daß die Muster in der Regel nicht ganzheitlich erfaßt werden, sondern Stück für Stück mit dem Blick abgetastet und auf Identität geprüft werden.

Hinsichtlich der einfachen Wirkungen zeigt sich zunächst, daß die Prüfdauer mit der Anzahl der Teilzeichen des Standardmusters ansteigt. Für das halbe Muster beträgt die durchschnittliche Blickzeit 2,99 Sek., für das ganze Muster dagegen 7,06 Sek., was einen mittleren Anstieg um den Faktor 2,36 bedeutet. Die Unterschiede sind signifikant.

Abb. 4 a-f. Durchschnittliche Identifizierungszeit für ein identisches Muster (in Sekunden) in Abhängigkeit von

a, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster,

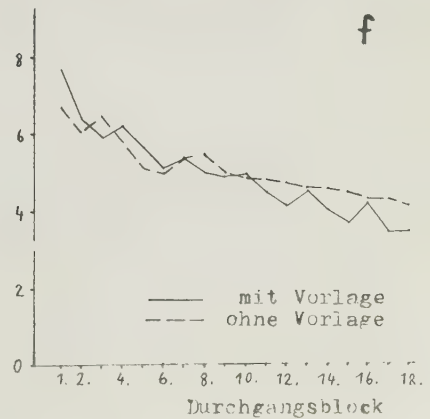
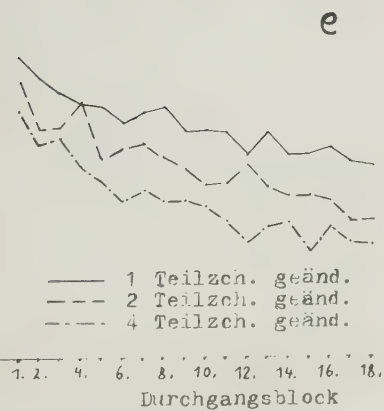
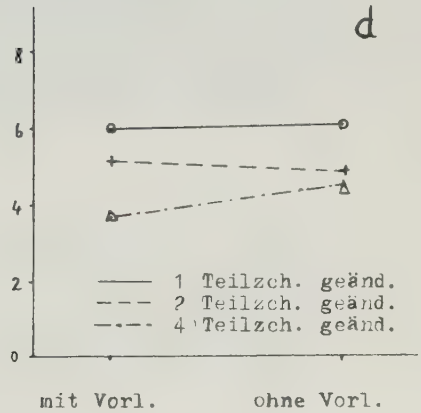
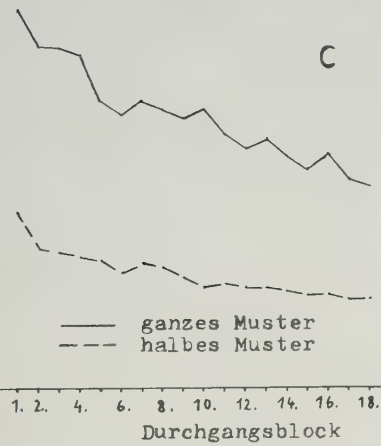
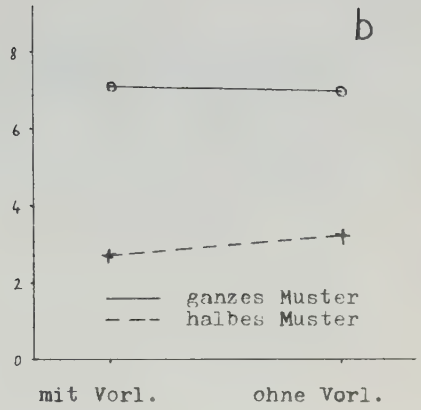
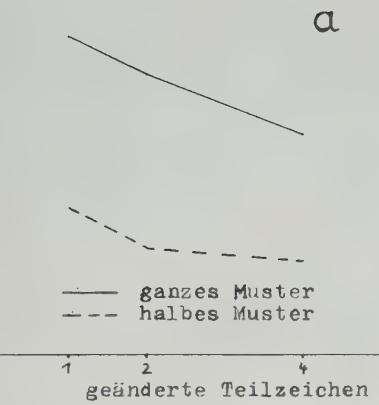
b, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs,

c, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen,

d, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs,

e, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen,

f, der Möglichkeit eines direkten Vergleichs und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen.



Quelle der Variation	SS	df	MS	F, Signif.
<u>Zwischen den Vpn</u>	<u>51,93</u>	<u>71</u>		
A (ganzes-halbes Muster)	33,22	1	33,22	<u>166,10</u>
B (1-2-4 Änderungen)	5,51	2	2,76	<u>13,80</u>
C (mit-ohne Vorlage)	0,35	1	0,35	1,75
AB	0,16	2	0,08	-
AC	0,33	1	0,33	1,65
BD	0,41	2	0,21	1,05
ABD	0,06	2	0,03	-
Vpn innerhalb der Gruppen	11,89	60	0,20	
 <u>Innerhalb der Vpn</u>	 <u>17,16</u>	 <u>1224</u>		
D (Durchgangsblöcke)	5,80	17	0,341	<u>37,89</u>
AD	0,11	17	0,006	-
BD	0,55	34	0,016	<u>1,81</u>
CD	0,35	17	0,021	<u>2,30</u>
ABD	0,29	34	0,009	-
ADB	0,10	17	0,006	-
BCD	0,55	34	0,016	<u>1,81</u>
ABCD	0,28	34	0,008	-
D x Vpn innerh. d. Grupp.	9,13	1020	0,009	

Der Grad der Ähnlichkeit der Distraktoren wirkt sich ebenfalls in signifikanter Weise aus. Die Prüfzeit für ein identisches Muster vermindert sich in negativ beschleunigter Weise mit der Zahl der abgeänderten Felder. Für ein abgeändertes T-Zeichen ergibt sich eine mittlere Zeit von 6,02 Sek., für zwei abgeänderte Zeichen eine von 4,98 Sek., für vier eine von 4,07 Sek.

Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs führt zu einer leicht geringeren Prüfzeit (4,93 Sek. gegenüber 5,12 Sek.). Zu beachten ist jedoch, daß diese fast gleichwertigen Zeiten auf recht unterschiedliche Weise zustandekommen. Liegt das Standardmuster als Vorlage vor, so wechseln die Vpn mehr oder weniger oft mit dem Blick zwischen kritischem Muster und Vorlagemuster hin und her und vergleichen direkt. Fehlt die Möglichkeit eines direkten Vergleichs, so wird nur das kritische Muster abgetastet.

Die Ergebnisse zeigen weiter, daß die Prüfzeit im Laufe aufeinanderfolgender Durchgänge in einer leicht negativ beschleunigten Kurve sinkt. Betrug die Prüfzeit bei Beginn der Zeitmessung durchschnittlich etwa 7,18 Sek., so weist sie im 18. Durchgangsblock nur mehr 3,81 Sek. auf. Die Unterschiede sind signifikant. Die Verminderung der Prüfzeit kommt im wesentlichen dadurch zustande, daß sich der Identifizierungsumfang, d.h. der Umfang der Teile, die pro Abtast- bzw. Vergleichsschritt geprüft werden, zunehmend ausweiteten, so daß immer weniger Einzelschritte nötig sind, bis schließlich im Optimalfall das kritische Muster mit einem einzigen Blick identifiziert werden kann. Diese Änderungen gehen Hand in Hand mit einer gewissen Änderung der Wahrnehmungsqualität einzelner Teile des kritischen Musters. Zu Beginn des Versuchs erscheint das ganze Muster irgendwie fremd, unwirklich und regellos. Nach und nach heben sich einzelne Teile des Musters

erlebnismäßig von der Masse der übrigen Teile ab. Sie werden zunehmend als bekannt erlebt, begleitet von einer Art Wissen um ihre Identität. Hinzu kommt, daß sie in Art einer Figur irgendwie plastischer, bewußtseinsheller anschaulich aus der Masse der übrigen Teile hervorspringen. Im weiteren Fortgang des Versuchs gewinnen immer mehr und immer größere Teile des Musters diese Qualität, indem weitere Teile zu den Kristallisationskernen der bereits vorher bekannten Teile dazutreten. Die Ausweitung des Identifizierungsumfanges geht im übrigen nicht gleichmäßig vor sich. Während einerseits manche umfangreichere Teile mit einem Blick identifiziert werden können, erscheinen andere noch wie zu Beginn als unbekannt und erfordern eine Prüfung in kleinen Abschnitten.

Von den Wechselwirkungen erweist sich keine als statistisch hinreichend gesichert. Abbildung 4 a zeigt zunächst für das ganze Muster einen etwa doppelt so steilen Abfall der Identifizierungszeiten in Abhängigkeit vom Ausmaß der Unähnlichkeit der Distraktoren wie für das halbe Muster.

Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs führt sowohl beim ganzen Muster wie beim halben Muster zu keiner wesentlichen Änderung der Identifizierungszeit (Abb. 4 b).

Abbildung 4 c zeigt in guter Annäherung eine jeweils proportional längere Identifizierungszeit für das ganze Muster im Vergleich zum halben Muster.

Zwischen der Möglichkeit eines direkten Vergleichs und dem Grad der Ähnlichkeit der Distraktoren läßt sich keine systematische Wechselwirkung feststellen (Abb. 4 d).

Je nach dem, ob eins, zwei oder vier Teilzeichen bei den Distraktoren abgeändert wurden, ändert sich die Identifizierungszeit in den aufeinanderfolgenden Durchgängen in etwas unterschiedlicher Weise: Es zeigt sich eine divergierende Tendenz. (Abb. 4 e).

Abbildung 4 f zeigt bei Vorhanden-Sein eines Vorlagemusters einen etwas steileren Abfall der Prüfzeit im Laufe der aufeinanderfolgenden Durchgänge mit Überkreuzung der beiden Kurven. Bemerkenswert sind hier ferner gewisse Unterschiede der Änderung des Blickverhaltens der beiden Versuchsgruppen mit fortschreitender Übung. Besteht die Möglichkeit eines direkten Vergleichs, so vollzieht sich die Minderung der Identifizierungszeit, rein äußerlich betrachtet, in drei Phasen. Während der ersten Phase betrachtet die Vp jeweils einen kleinen Ausschnitt des kritischen Musters, vergleicht ihn mit dem korrespondierenden Teil der Vorlage, wechselt mit dem Blick wieder zum kritischen Muster, betrachtet einen weiteren Teil und so fort. Meist wird dabei nicht optimal abgetastet, sondern der eine oder andere Teil gar nicht oder kaum beachtet. Im Laufe des Versuchs werden die in einem Vergleichsschritt erledigten Teile des Vorlage- bzw. kritischen Musters zunehmend umfangreicher, das Hin- und Herwandern des Blickes also seltener, und die erste Phase geht über in die nächste Phase. Hierbei wandert der Blick wie vorher über das jeweilige kritische Muster, der Blickwechsel zur Vorlage unterbleibt jedoch. Der Übergang erfolgt zunächst nur partiell; einige Abschnitte werden ohne direkten Vergleich identifiziert, dann zunehmend mehr, bis schließlich die Vorlage völlig entbehrlich ist. Das Heranziehen der Vorlage erfolgt in typischer Weise nur dann, wenn sich die Vp über die Identität eines Teils im Zweifel

befindet. Im weiteren Verlauf wird das kritische Muster in immer größeren Abschnitten identifiziert, bis schließlich die dritte Phase der ganzheitlichen Identifizierung erreicht ist, bei der ein abtastendes Wandern des Blickes unterbleibt. - Bei der Gruppe ohne Vorlagemuster läßt sich demgegenüber nur eine allmähliche Erweiterung des Identifizierungsumfangs beobachten, bis - vereinzelt - die Stufe der ganzheitlichen Identifizierung erreicht ist. Der Übergang zum ganzheitlichen Identifizieren vollzieht sich bei beiden Gruppen in typischer Weise zuerst bei den nichtidentischen Mustern: Vielfach wird bereits das eine oder andere Distraktormuster auf den ersten Blick als "falsch" erkannt, während die identischen Muster weiterhin abgetastet werden.

Prüfzeit für ein nichtidentisches Muster

Bei Betrachtung der Prüfzeiten für ein nichtidentisches Muster fällt sofort die Ähnlichkeit mit den Ergebnissen für die identischen Muster auf. Sämtliche Prüfzeiten erscheinen, von kleineren, zufälligen Schwankungen abgesehen, wie ein durch Transformation der Ordinate werte im Verhältnis von etwa 1 : 1,65 gewonnenes Abbild der Zeiten für ein identisches Muster. Der Grund für diesen Zusammenhang ist sehr einfach. Die Vpn prüfen die nichtidentischen Muster, bis sie auf ein abgeändertes Teil stoßen, und werfen dann die Karte ab. Bis sie aber auf ein solches abweichendes Teil stoßen, müssen sie wie vorher identische Teile prüfen. Die Prüfzeit für die nichtidentischen Muster gibt damit in gleicher Weise wie die Prüfzeit für ein identisches Muster im wesent-

lichen darüber Aufschluß, wieviel Zeit das Erkennen identischer Reizobjekte bzw. Teile solcher Objekte erfordert. Die Identifizierungszeit für ein nichtidentisches Muster ist deshalb gegenüber der Prüfzeit für die identischen Muster um einen bestimmten Faktor reduziert, weil einerseits identische und nichtidentische Muster mit dem selben Abtastaufwand angegangen werden - die Vpn wissen ja von vorneherein nicht, um welche Art von Mustern es sich handelt - andererseits durchschnittlich nur ein Teil der Teilzeichen zu prüfen ist. Die Größe dieses Bruchteils ist allerdings nicht invariant, sondern hängt vom Anteil der abgeänderten Teilzeichen an der Gesamtzahl der Teilzeichen ab. Er läßt sich prinzipiell mit Hilfe einer hypergeometrischen Verteilung (vergl. S. 88) berechnen. Dieser Verteilung zufolge müßte die Identifizierungszeit für ein Distraktormuster bei einer Abänderung noch stärker reduziert sein. Die vorfindbare Reduzierung bleibt aus verschiedenen Gründen hinter der theoretisch zu erwartenden zurück. So enthalten die Prüfzeiten musterunabhängige Konstanten,

Abb. 5 a-f. Durchschnittliche Identifizierungszeit für ein nichtidentisches Muster (in Sekunden) in Abhängigkeit von

a, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster,

b, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs,

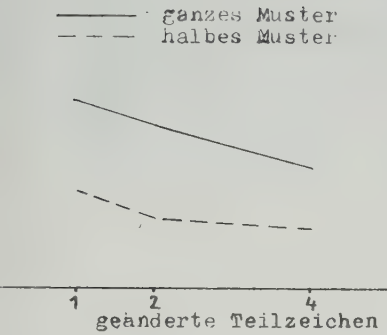
c, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen,

d, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs,

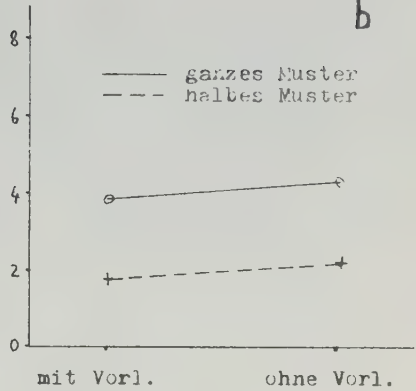
e, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen,

f, der Möglichkeit eines direkten Vergleichs und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen.

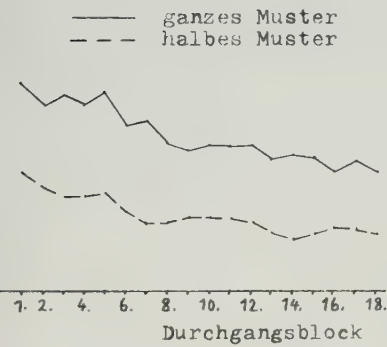
a



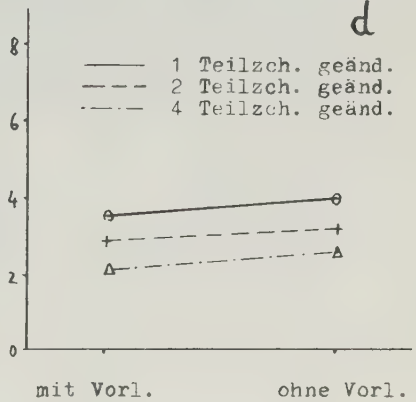
b



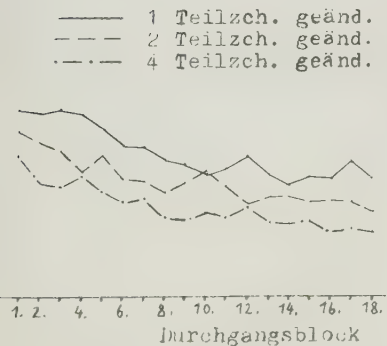
c



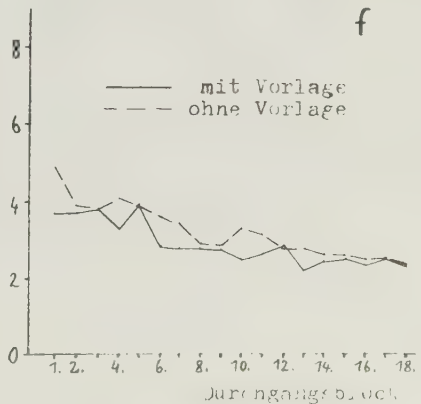
d



e



f



Quelle der Variation	SS	df	MS	F, Signif.
<u>Zwischen den Vpn</u>	<u>32,44</u>	<u>71</u>		
A (ganzes-Halbes Muster)	18,10	1	18,10	<u>152,10</u>
B (1-2-4 Änderungen)	6,11	2	3,01	<u>25,25</u>
C (mit-ohne Vorlage)	0,68	1	0,68	<u>5,71</u>
AB	0,21	2	0,11	-
AC	0,07	1	0,07	-
BD	0,08	2	0,04	-
ABC	0,05	2	0,03	-
Vpn innerhalb d. Gruppen	7,14	60	0,12	
 Innerhalb der Vpn	 <u>26,54</u>	 <u>1224</u>		
D (Durchgangsblöcke)	5,25	17	0,309	<u>17,57</u>
AD	0,52	17	0,031	<u>1,76</u>
BD	0,50	34	0,015	-
CD	0,40	17	0,024	1,36
ABD	0,75	34	0,022	1,25
ACD	0,19	17	0,011	-
BCD	0,48	34	0,014	-
ABCD	0,51	34	0,15	-
D x Vpn innerh. d. Gruppen	17,94	1020	0,018	

wie z.B. die Zeit für das Ablegen der jeweils vorangegangenen Karte oder die Zeit für das Zögern vor einer Entscheidung. Hinzu kommt, daß auch die zum Erkennen des abgeänderten Teils nötige Zeit in den Meßwert eingeht.

Schließlich wird der "wahre" Zusammenhang durch die Unterschiedliche Häufigkeit von Annahme- und Verwerfungsfehlern verzerrt, die nicht weiter berücksichtigt wurde.

Es zeigt sich wie vorher, daß die Identifizierungsdauer für ein nichtidentisches Muster mit der Anzahl der Teilzeichen des Standardmusters in signifikanter Weise ansteigt. Für ein halbes Muster beträgt die durchschnittliche Prüfzeit 1,96 Sek., für ein ganzes Muster dagegen 4,08 Sek., was einen mittleren Anstieg um den Faktor 2,08 bedeutet. Für die identischen Muster war der entsprechende Faktor leicht größer: er betrug 2,36.

Die Anzahl der abgeänderten Teilzeichen bei den nichtidentischen Mustern führt gleichfalls zu einer leicht negativ beschleunigten, signifikanten Reduzierung der Identifizierungszeit. Eine Abänderung führt zu einer mittleren Prüfzeit von 3,72 Sek., zwei zu einer von 3,01 Sek., vier zu einer von 2,34 Sek. Den Erwartungen gemäß ist hier der Einfluß der unabhängigen Variablen relativ etwas größer als bei den identischen Mustern, da sich die Anzahl der Abänderungen u.a. auch auf die Menge der identischen Teile auswirkt, die durchschnittlich zu prüfen ist, bis eine Vp auf ein abgeändertes Teil stößt: Die Identifizierungszeit für ein nichtidentisches Muster beträgt 62 % der Zeit für ein identisches Muster, wenn ein Teilzeichen, dagegen nur 60 % bzw. 57 %, wenn zwei bzw. vier Teilzeichen abgeändert sind.

Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs führt zu einer etwas geringeren Prüfzeit: durchschnittlich 2,82 Sek. gegenüber 3,22 Sek. bei der Anordnung ohne Vorlagemuster. Die Unterschiede sind hier auf der 5 % - Stufe signifikant. Sie entsprechen einer Prüfzeitreduktion um den Faktor 0,88 gegenüber einer Verminderung um den Faktor 0,96 bei den identischen Mustern. Wie vorher kommen die nicht sonderlich verschiedenen Identifizierungszeiten auf recht unterschiedliche Weise zustande.

Im Laufe der aufeinanderfolgenden Durchgänge sinkt die Prüfzeit in signifikanter Weise: von ursprünglich durchschnittlich 4,26 Sek. auf 2,36 Sekunden. Dies entspricht einer Minderung um den Faktor 0,55 gegenüber einer Reduktion um den nahezu identischen Faktor 0,53 bei den identischen Mustern.

Bei den einfachen Wechselwirkungen zeigt sich zunächst, daß die Prüfzeit für das ganze Muster in Abhängigkeit von der Anzahl der Abänderungen ebenfalls etwa doppelt so steil abfällt wie für das halbe Muster (Abb. 5a).

Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs führt im Falle eines ganzen Musters zu einer etwa gleichgroßen Zeitersparnis wie im Falle eines halbierten Musters (Abb. 5 b). Die Ergebnisse lassen damit wie vorher keine systematische Wechselwirkung erkennen.

Die aufeinanderfolgenden Durchgänge führen bei Darbietung eines ganzen Musters zu einem erkennbar steileren Abfall der Identifizierungszeit als bei Darbietung eines halben Musters. Über weite Strecken weist dabei die Prüfzeit für die ganzen Muster etwa den doppelten Wert der Prüfzeit für die halben Muster auf (Abb. 5 c).

Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs führt bei unterschiedlicher Anzahl von Abänderungen zu einer etwa gleichgroßen Prüfzeiterparnis (Abb. 5 d). Die Daten erhärten damit den bisherigen Befund, daß keine systematische Wechselwirkung der beiden unabhängigen Variablen vorliegt.

Im Laufe der aufeinanderfolgenden Durchgänge nimmt die durchschnittliche Identifizierungszeit bei einer, zwei oder vier Abänderungen in etwa gleicher Weise ab. Die Daten lassen damit kein Divergieren der Verlaufskurven erkennen, das vordem bei den identischen Mustern zu beobachten war (Abb. 5 e).

Im Laufe der aufeinanderfolgenden Durchgänge nimmt die Prüfzeit bei gegebener Vergleichsmöglichkeit etwas langsamer ab, als bei fehlender. Es zeigt sich damit eine umgekehrte Tendenz wie bei den identischen Mustern. Die Unterschiede sind jedoch nur gering (Abb. 5 f).

Sämtliche genannten Wechselwirkungen sind im übrigen nicht signifikant.

Verwerfungsfehler

Betrachtet man zunächst die einfachen Wirkungen der unabhängigen Variablen auf die Häufigkeit der Verwerfungsfehler, so zeigt sich als erstes, daß der Fehleranteil mit der Komplexität des Standardmusters in signifikanter Weise ansteigt. Für das halbe Muster beträgt der durchschnittliche Fehleranteil ca. 2,7 %, während er für das ganze Muster etwa 4,6 % beträgt.

Die Anzahl der geänderten Teilzeichen bei den Distraktoren wirkt sich nur geringfügig auf die Anzahl der Verwerfungsfehler aus. Bei einer Abänderung beträgt der Fehleranteil durchschnittlich 4,1 % bei zwei ca. 3,9 %, bei vier ca. 3,0 %. Die Unterschiede verfehlen die Signifikanzgrenze weit.

Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs wirkt sich in drastischer Weise auf die Anzahl der Verwerfungsfehler aus. Ist ein solcher Vergleich möglich, so resultieren nahezu keine Fehler (0,7 %), ist er nicht möglich, ergeben sich 6,6 % Fehler. Die Unterschiede sind signifikant.

Im Laufe der aufeinanderfolgenden Durchgänge sinkt der Fehleranteil in signifikanter Weise: von 13,5 % im ersten auf etwa 3,0 % im 18. Durchgangsblock.

Betrachtet man die einfachen Wechselwirkungen, so zeigt sich zunächst, daß eine Vermehrung abgeänderter Teilzeichen bei Serien mit ganzen Mustern zu einer leichten Reduzierung der Anzahl der Verwerfungsfehler führt, während sie bei Serien mit halben Mustern keine Wirkung zeigt (Abb. 6 a). Die Wechselwirkung ist nicht signifikant.

Abb. 6 a-f. Durchschnittliche Häufigkeit von Verwerfungsfehlern in Abhängigkeit von

a, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster,

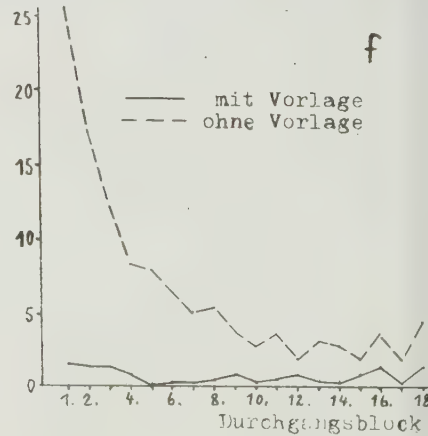
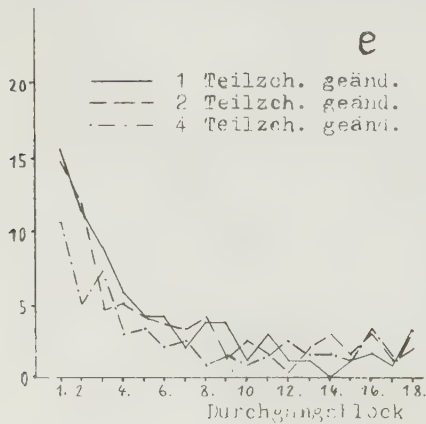
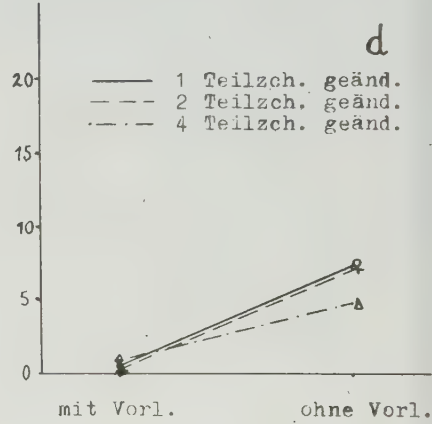
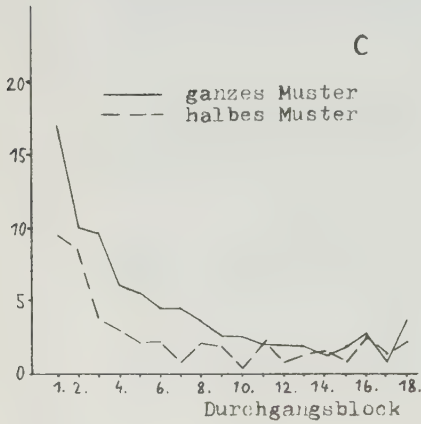
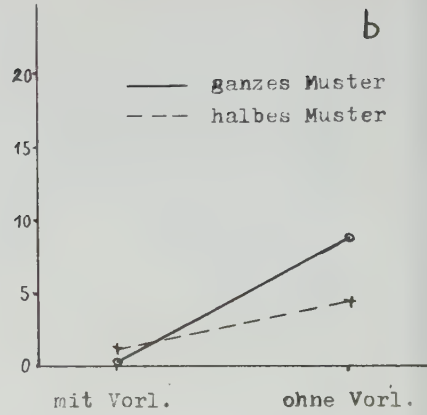
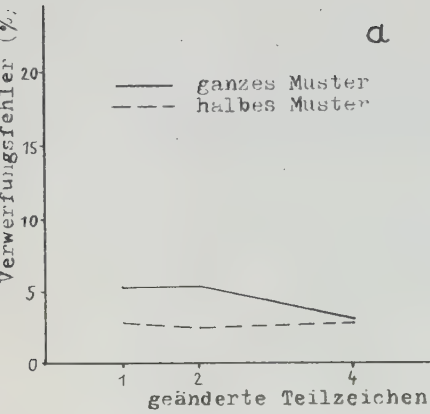
b, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs,

c, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen,

d, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und Möglichkeit eines direkten Vergleichs,

e, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen,

f, der Möglichkeit eines direkten Vergleichs und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen.



<u>Quelle der Variation</u>	<u>SS</u>	<u>df</u>	<u>MS</u>	<u>F, Signif.</u>
<u>Zwischen den Vpn</u>	<u>219,55</u>	<u>71</u>		
A (ganzes-halbes Muster)	11,30	1	11,30	<u>10,47</u>
B (1-2-4 Änderungen)	2,97	2	1,49	1,38
C) (mit-ohne Vorlage)	108,51	1	108,51	<u>100,58</u>
AB	4,19	2	2,09	1,94
AC	21,01	1	21,01	<u>19,47</u>
BC	6,42	2	3,21	2,98
ABC	0,42	2	0,21	-
Vpn innerhalb d. Gruppen	64,73	60	1,08	
<u>Innerhalb der Vpn</u>	<u>755,28</u>	<u>1224</u>		
D (Durchgangsblöcke)	127,20	17	7,482	<u>17,26</u>
AD	12,80	17	0,753	<u>1,74</u>
BD	16,61	34	0,488	1,13
CD	104,31	17	6,136	<u>14,16</u>
ABD	10,34	34	0,304	-
ACD	15,31	17	0,901	<u>2,08</u>
BCD	16,39	34	0,482	1,11
ABCD	10,22	34	0,301	-
D x Vpn innerh. d. Gruppen	9,13	1020	0,433	

Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs verhindert sowohl bei den ganzen, als auch bei den halben Mustern ein Auftreten von Verwerfungsfehlern nahezu völlig. Fehlt hingegen eine solche Möglichkeit, so ergibt sich für das ganze Muster eine etwa doppelt so hohe Fehlerrate wie für das halbe Muster (Abb. 6 b). Die Wechselwirkung ist signifikant.

Im Laufe der anfänglichen Durchgänge sinkt die Anzahl der Verwerfungsfehler bei Serien mit ganzen Mustern etwa doppelt so schnell wie bei Serien mit halben Mustern. Die Fehlerhäufigkeit pendelt sich dann in beiden Fällen auf einen Basiswert ein, der etwas über der Nulllinie liegt. Die Wechselwirkung ist nicht signifikant (Abb. 6 c).

Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs führt bei einer, zwei oder vier Abänderungen auf Seiten der Distraktoren in gleicher Weise zu einer fast völligen Verhinderung der Verwerfungsfehler. Besteht keine solche Möglichkeit, ergibt sich eine leichte Minderung der Fehlerhäufigkeit bei einer größeren Zahl von Abänderungen. Die beobachtete Wechselwirkung verfehlt die Signifikanzgrenze nur knapp (Abb. 6 d).

Eine unterschiedliche Anzahl abgeänderter Teilzeichen führt zu Beginn des Versuchs zu einer leicht unterschiedlichen Anzahl von Verwerfungsfehlern, wobei umso mehr Fehler auftreten, je weniger die identischen Muster abgeändert sind. Im Laufe der aufeinanderfolgenden Durchgänge verschwinden die Fehler zunehmend in allen Gruppen, so daß schließlich unterschiedslos nur mehr vereinzelt Fehler auftreten (Abb. 6 e). Die Wechselwirkung ist nicht signifikant.

Bei fehlender Möglichkeit eines direkten Vergleichs treten im ersten Durchgang ca. 25 % Verwerfungsfehler auf, die im Laufe der Durchgänge auf einen Basiswert von ca. 3 % absinken. Besteht dagegen die Möglichkeit eines direkten Vergleichs, so treten unabhängig von der Anzahl der Durchgänge während des ganzen Versuchs kaum Fehler auf: Der durchschnittliche Fehleranteil beträgt lediglich 0,74 % (Abb. 6 f). Die Wechselwirkung ist signifikant.

Annahmefehler

Hinsichtlich der direkten Abhängigkeit der Häufigkeit der Annahmefehler von den unabhängigen Variablen zeigt sich zunächst, daß die Anzahl der Annahmefehler geringfügig mit der Komplexität des Standardmusters ansteigt. Für das halbe Muster ergeben sich durchschnittlich 7,32 % Fehler, für das ganze Muster hingegen 9,43 %. Die Unterschiede sind nicht signifikant.

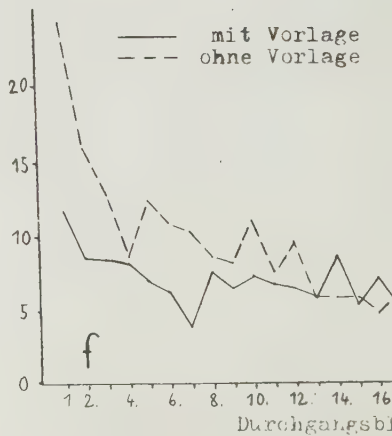
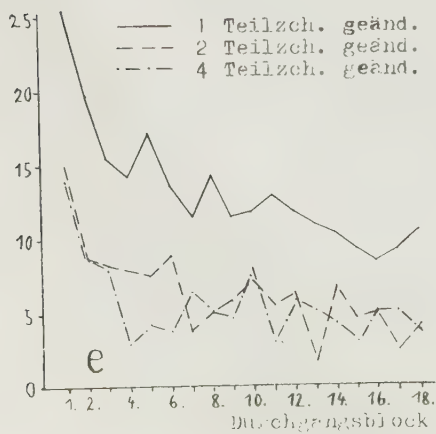
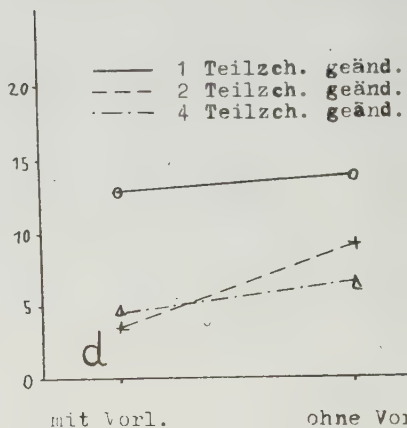
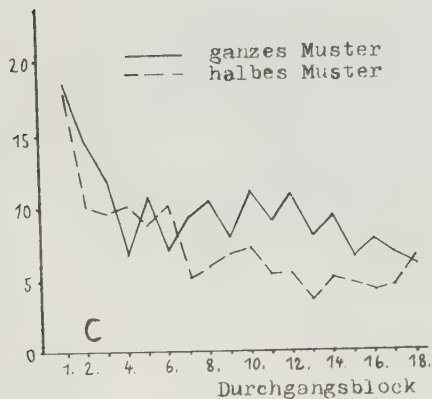
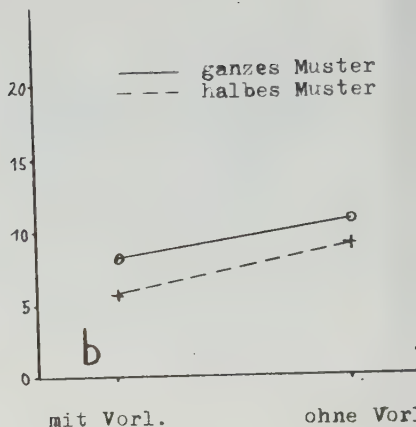
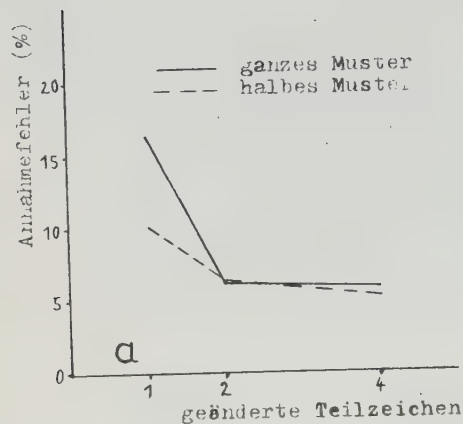
Die Anzahl der Annahmefehler fällt in einer negativ beschleunigten Kurve mit der Anzahl der geänderten Teilzeichen. Bei einer Abänderung beträgt der Fehleranteil durchschnittlich 13,22 %, bei zwei 6,32 % und bei vier 5,56 %. Die Unterschiede sind signifikant.

Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs führt zu einer Reduktion der Anzahl der Annahmefehler. In der Versuchsanordnung "ohne Vorlagemuster" resultieren 9,76 % Fehler, in der Anordnung "mit Vorlagemuster" hingegen nur 7,0 %. Die Unterschiede sind signifikant.

Betrachtet man die einfachen Wechselwirkungen, so zeigt sich zunächst, daß das Vorhandensein eines einzigen abgeänderten Teilzeichens in Serien mit ganzen Mustern zu bedeutend mehr Annahmefehlern führt, als in Serien mit halbierten Mustern. Sind zwei oder vier Teilzeichen geändert, so verschwinden die Unterschiede weitgehend (Abb. 7 a). Die Wechselwirkung ist nicht signifikant.

Abb. 7 a-f. Durchschnittliche Häufigkeit von Annahmefehlern in Abhängigkeit von

- a, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster,
- b, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs,
- c, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen,
- d, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs,
- e, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen,
- f, der Möglichkeit eines direkten Vergleichs und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen.



<u>Quelle der Variation</u>	<u>SS</u>	<u>df</u>	<u>MS</u>	<u>F, Signif.</u>
<u>Zwischen den Vpn</u>	<u>147,95</u>	<u>71</u>		
A (ganzes-halbes Muster)	2,11	1	2,11	1,64
B (1-2-4 Änderungen)	47,64	2	23,82	<u>18,55</u>
C (mit-ohne Vorlage)	6,06	1	6,06	<u>4,74</u>
AB	7,63	2	3,82	2,97
AC	0,63	1	0,63	-
BC	3,76	2	1,88	1,46
ABC	3,06	2	1,53	1,19
Vpn innerhalb d. Gruppen	77,06	60	1,28	
<u>Innerhalb der Vpn</u>	<u>321,90</u>	<u>1224</u>		
D (Durchgangsblöcke)	26,42	17	1,554	<u>6,54</u>
AD	3,53	17	0,208	-
BD	6,38	34	0,188	-
CD	10,51	17	0,618	<u>2,60</u>
ABD	13,94	34	0,410	<u>1,73</u>
ACD	4,05	17	0,238	1,00
BCD	9,53	34	0,280	1,18
ABCD	5,17	34	0,152	-
D x Vpn innerh. d. Gruppen	242,37	1020	0,238	

Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs führt bei ganzen Mustern zu einer fast ebenso starken Reduktion der Annahmefehlerhäufigkeit wie bei halben Mustern. Es liegt somit keine nennenswerte Wechselwirkung vor (Abb. 7 b).

Im Laufe der aufeinanderfolgenden Durchgänge sinkt die Anzahl der Annahmefehler bei den ganzen Mustern etwas langsamer als bei den halben Mustern. Die Wechselwirkung ist nicht signifikant (Abb. 7 c)

Zwischen der Möglichkeit eines direkten Vergleichs und der Anzahl abgeänderter Teilzeichen läßt sich keine durchgängige Wechselwirkung erkennen (Abb. 7 d).

Die Anzahl der Annahmefehler ist bei Beginn des Versuchs umso höher, nimmt im Laufe der Durchgänge umso langsamer ab und strebt einem umso höheren Basiswert zu, je weniger Teilzeichen bei den nichtidentischen Mustern abgeändert werden (Abb. 7 e). Die Wechselwirkung ist nicht signifikant.

Fehlt die Möglichkeit eines direkten Vergleichs, so ergeben sich zu Beginn des Versuchs relativ viele Fehler (24,4 %), die im Laufe der Durchgänge auf einen bestimmten Basiswert (ca. 5 %) fallen. Ist dagegen die Möglichkeit eines direkten Vergleichs gegeben, so resultieren zu Beginn des Versuchs vergleichsweise nur mäßig viele Fehler (11,7 %), die im Laufe der Durchgänge demselben Basiswert zustreben, der sich auch bei fehlendem Vorlagemuster beobachten läßt (Abb. 7 f). Die Wechselwirkung ist signifikant.

Zeichnerische Reproduktion

Untersucht man zuerst die einfachen Wirkungen der unabhängigen Variablen, so zeigt sich zunächst, daß die Anzahl der Zeichenpunkte mit der Komplexität des Standardmusters ansteigt. In den Serien mit halben Mustern werden durchschnittlich 34,3 Abschnitte reproduziert, während bei den vollständigen Mustern 54,3 gezeichnet werden. Die Unterschiede sind signifikant.

Die Anzahl der geänderten Teilzeichen bei den nichtidentischen Mustern wirkt sich nur wenig auf die Zeichenleistung aus. Bei einer Abänderung werden durchschnittlich 44,5 Abschnitte reproduziert, bei zwei 43,2, bei vier 38,6. Die Unterschiede sind nicht signifikant.

Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs führt zu nur geringfügigen Unterschieden. Während bei der Anordnung "mit Vorlagemuster" durchschnittlich 43,4 Abschnitte reproduziert werden, werden bei der Anordnung "ohne Vorlagemuster" nur 40,9 Teile wiedergegeben. Die Unterschiede sind nicht signifikant.

Die aufeinanderfolgenden Durchgänge führen zu einer fortlaufenden Verbesserung der Reproduktionsleistung. Während im ersten Durchgang durchschnittlich 17,0 Abschnitte reproduziert werden, sind es im 18. Durchgangsblock 56,4. Die Lernkurve zeigt dabei einen negativ beschleunigten Verlauf. Die Unterschiede sind signifikant.

Auf Seiten der komplexen Wirkungen verdient lediglich die Wechselwirkung zwischen Übung und Komplexität Beachtung. Im Laufe der aufeinanderfolgenden Durchgänge nimmt die Anzahl der reproduzierten Abschnitte in Serien mit halben Mustern (Abb. 8 c) zu. Dabei wird in Serien mit dem vollständigen Muster im ersten Durchgang 1,26 mal, im 5. Durchgang 1,45 mal, im 9. Durchgang 1,73 mal, im 13. Durchgang 1,82 mal und im 18. Durchgangsblock 1.87 mal soviel reproduziert wie in Serien mit halbierten Mustern. Die Wechselwirkung ist signifikant.

Abb. 8 a-f. Durchschnittliche Anzahl reproduzierter Abschnitte in Abhängkeit von

a, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster,

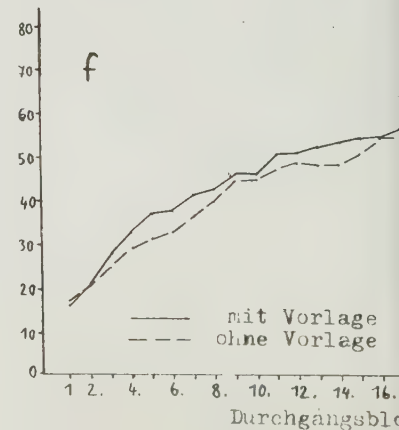
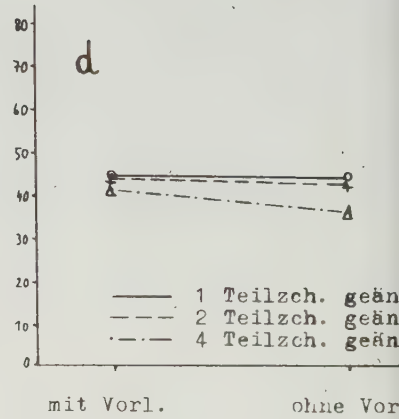
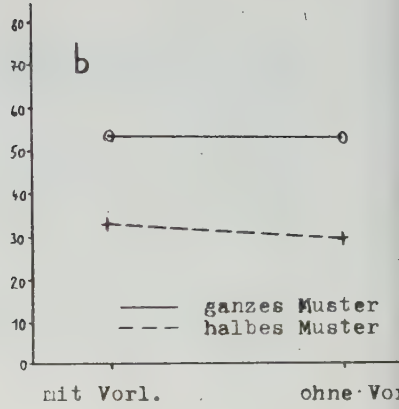
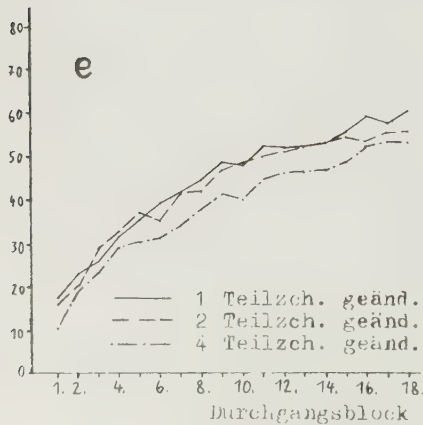
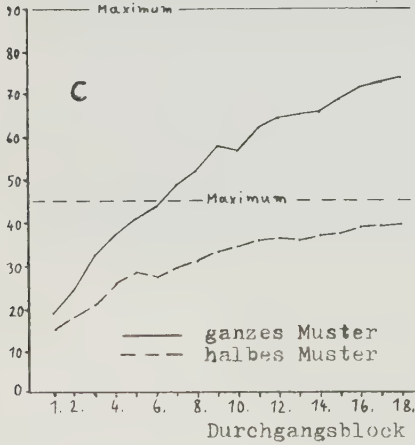
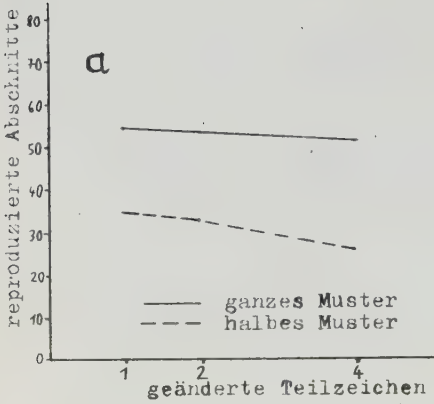
b, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs,

c, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen,

d, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs,

e, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen,

f, der Möglichkeit eines direkten Vergleichs und der Anzahl der Identifizierungsblöcke mit zwischengeschalteten Reproduktionsversuchen.



<u>Quelle der Variation</u>	<u>SS</u>	<u>df</u>	<u>MS</u>	<u>F, Signif.</u>
<u>Zwischen den Vpn</u>	<u>2071,4</u>	<u>71</u>		
A (ganzes-halbes Muster)	917,0	1	917,0	<u>55,23</u>
B (1-2-4 Änderungen)	73,2	2	36,6	2,21
C (mit-ohne Vorlage)	13,7	1	13,7	-
AB	20,6	2	10,3	-
AC	11,7	1	11,7	-
BD	7,2	2	3,6	-
ABC	31,7	2	15,9	-
Vpn innerhalb d. Gruppen	996,3	60	16,6	
<u>Innerhalb der Vpn</u>	<u>2083,2</u>	<u>1224</u>		
D (Durchgangsböcke)	1284,1	17	75,54	<u>125,15</u>
AD	80,9	17	4,76	<u>7,89</u>
BD	18,7	34	0,55	-
CD	8,8	17	0,52	-
ABD	23,4	34	0,69	1,14
ACD	7,0	17	0,41	-
BCD	25,3	34	0,74	1,23
ABCD	19,4	34	0,57	-
D x Vpn innerh. d. Gruppen	615,6	1020	0,60	

UNMITTELBARE UND MITTELBARE WIRKUNGEN

Ein gangs wurde bereits hinsichtlich der Frage der Abhängigkeit der Erkennensleistung von der Komplexität eines Musters die Vermutung ausgesprochen, daß die Wirkungen unabhängiger Variablen auf das Erkennen von Mustern jeweils zweifacher Natur sind: Sie beeinflussen einerseits direkt den Prozeß des Identifizierens und sie beeinflussen andererseits auch den Prozeß des Erlernens des jeweiligen Zielusters, der nolens volens immer auch beim Identifizieren stattfindet. Dieser zweite Effekt erweist sich nun aber gleichfalls in mittelbarer Weise als sehr bedeutungsvoll für das Wiedererkennen. Die Unterschiedlichkeit der Leistungen in den eingeschobenen Reproduktionsdurchgängen zeigt nun, daß der Verdacht zumindestens für das vorliegende Experiment zu Recht besteht und daß für alle hier verwendeten unabhängigen Variablen eine solche mittelbare Wirkung über das Lernen anzunehmen ist, die die unmittelbare mehr oder weniger überlagert. Das Zusammenspiel von unmittelbaren und mittelbaren Wirkungen sei an einem Beispiel näher erläutert. Eine geringere Anzahl von abgeänderten T-Zeichen bei den Distraktoren führt zu einer durchschnittlich höheren Prüfzeit (direkte Wirkung). Diese höhere Prüfzeit für jedes einzelne kritische Muster führt jedoch dazu, daß auch die kumulierte Blickzeit und damit die jeweilige Gesamtlernzeit für die einzelnen Durchgänge um einen gewissen Faktor höher ist; das Standardmuster wird entsprechend in einer solchen Serie im Laufe der Durchgänge relativ rasch erlernt. Der jeweilige Lernvorsprung führt nun, wie man aufgrund der beobachteten Abhängigkeit der Prüfzeit von der Anzahl der Durchgänge annehmen muß, sekundär dazu, daß die ähnlicheren Muster vergleichsweise wiederum schneller abgetastet werden können (mittelbare Wirkung). Die mittelbare Wirkung kompensiert

damit mehr oder weniger die unmittelbare. Nun bliebe der Anteil der unmittelbaren und der mittelbaren Wirkung ununterscheidbar, wenn nicht ein gesondertes Lernmaß, die Reproduktionsleistung, zur Verfügung stehen würde. Dieses Lernmaß gestattet, Prüfzeit- und Fehlermeßwerte auf der Basis gleicher Reproduktionsleistungen zu vergleichen und damit den mittelbaren Einfluß, der der unterschiedlichen Vollständigkeit der Spur zuzuschreiben ist, zu eliminieren. Dies kann einfach dadurch geschehen, daß die fraglichen Prüfzeiten bzw. Fehlerhäufigkeiten gegen die Reproduktionswerte angetragen und korrespondierende Bereiche zur Basis der Betrachtungen gemacht werden.

Im einzelnen wird dabei nicht von den individuellen Reproduktionsleistungen, sondern von den Gruppenleistungen ausgegangen und zwar aus zwei Gründen: Erstens ergibt sich hier ein größerer Bereich gemeinsamer Reproduktionsleistung, zweitens werden ceiling-Effekte weitgehend eliminiert. Ceiling-Effekte sind bei gleichen mittleren Reproduktionsleistungen in den verschiedenen Gruppen etwa in gleicher Stärke zu erwarten und verfälschen demgemäß nicht mehr einseitig das Bild.

Zur Feststellung der Wirkung der verschiedenen unabhängigen Variablen auf die Blickzeiten und Fehlerhäufigkeiten unter der Voraussetzung gleicher Reproduktionsleistungen wird im einzelnen wie folgt vorgegangen. Zunächst wird der Bereich gemeinsamer relativer Reproduktionsleistungen (relativ zur maximal möglichen Leistung) bei den verschiedenen zu vergleichenden Gruppen festgestellt und eine gleichmäßig abgestufte Reihe von Reproduktionsleistungen für diesen Bereich festgelegt (z.B. 20 % usw. der maximal möglichen Teile reproduziert). Durch Interpolieren wird festgestellt, in welchem Durchgang diese Standard-Reproduktionsleistungen erzielt wurden (z.B. 35 % im 2,89. Durchgang usw.) und weiter die zugehörige Reihe von Meßwerten in den vier fraglichen abhängigen Variablen ermittelt. Über diese standardisierten Reihen von Meßwerten werden schließlich Mittelwerte gebildet. - Hinsichtlich der Variable "Anzahl der Durchgangsböcke" wurde aus verständlichen Gründen auf eine Standardisierung der Reproduktionsleistungen verzichtet und für die einzelnen Durchgänge die fraglichen Meßwerte direkt gegen die Reproduktionsleistungen angetragen.

Die folgenden Tabellen 1 - 4 enthalten eine Zusammenstellung der einfachen Wirkungen der unabhängigen Variablen. Die einfachen Wechselwirkungen lassen sich aus den Abbildungen 9 - 12 ansehen. Im großen und ganzen ergeben sich dabei keine gravierenden Veränderungen, da die Lerngradienten unter relativem Gesichtspunkt (relativ zur maximalen Leistung von 45 bzw. 90 reproduzierten Abschnitten) nicht allzu verschieden sind.

Tab. 1: Einfache Wirkung der Komplexität der kritischen Muster auf die Prüfzeit für ein identisches Muster (a), die Prüfzeit für ein nichtidentisches Muster (b), die Häufigkeit von Verwerfungsfehlern (c) und die Häufigkeit von Annahmefehlern (d) unter der Voraussetzung gleicher Reproduktionsleistungen

	a	b	c	d
ganzes Muster	7,20 Sek.	4,20 Sek.	4,2 %	9,2 %
halbes Muster	3,38 Sek.	2,30 Sek.	3,8 %	8,6 %

(Bereich gemeinsamer Reproduktion: 35-80 % der max. Leist.)

Tab. 2: Einfache Wirkung der Ähnlichkeit der nichtidentischen Muster auf die Prüfzeit für ein identisches Muster (a), die Prüfzeit für ein nichtidentisches Muster (b), die Häufigkeit von Verwerfungsfehlern (c) und die Häufigkeit von Annahmefehlern (d) unter der Voraussetzung gleicher Reproduktionsleistungen

	a	b	c	d
1 Abänderung	6,56 Sek.	4,15 Sek.	6,5 %	15,9 %
2 Abänderungen	5,61 Sek.	3,39 Sek.	5,6 %	7,6 %
4 Abänderungen	4,50 Sek.	2,36 Sek.	3,7 %	5,9 %

(Bereich gemeinsamer Reproduktion: 25-80 % der max. Leist.)

Tab. 3: Einfache Wirkung der Möglichkeit eines direkten Vergleichs auf die Prüfzeit für ein identisches Muster (a), die Prüfzeit für ein nichtidentisches Muster (b), die Häufigkeit von Verwerfungsfehlern (c) und die Häufigkeit von Annahmefehlern (d) unter der Voraussetzung gleicher Reproduktionsleistungen

	a	b	c	d
mit Vorl.-Muster	5,63 Sek.	3,24 Sek.	0,9 %	7,7 %
ohne Vorl.-Muster	5,51 Sek.	3,50 Sek.	9,0 %	11,5 %

(Bereich gemeinsamer Reproduktion: 25-80 % der max. Leist.)

Tab. 4: Einfache Wirkung der Übung (gemessen an der relativen Reproduktionsleistung) auf die Prüfzeit für ein identisches Muster (a), die Prüfzeit für ein nichtidentisches Muster (b), die Häufigkeit von Verwerfungsfehlern (c) und die Häufigkeit von Annahmefehlern

		a	b	c	d
	25 %	7,81 Sek.	4,41 Sek.	14,7 %	18,7 %
	30 %	6,45 Sek.	3,91 Sek.	10,3 %	13,6 %
	35 %	6,29 Sek.	3,79 Sek.	7,7 %	11,2 %
	40 %	6,10 Sek.	3,84 Sek.	6,0 %	9,8 %
	45 %	5,83 Sek.	3,78 Sek.	4,5 %	9,1 %
Reprod.-	50 %	5,60 Sek.	3,48 Sek.	3,4 %	9,4 %
Leist.	55 %	5,52 Sek.	3,61 Sek.	2,5 %	8,5 %
	60 %	5,37 Sek.	2,85 Sek.	2,8 %	6,5 %
	65 %	4,98 Sek.	2,85 Sek.	2,2 %	7,7 %
	70 %	4,87 Sek.	2,88 Sek.	1,2 %	8,8 %
	75 %	4,50 Sek.	2,61 Sek.	1,0 %	4,7 %
	80 %	4,12 Sek.	2,49 Sek.	2,0 %	6,0 %

Abb. 9 a-f. Durchschnittliche Identifizierungszeit für ein identisches Muster (in Sekunden) unter der Voraussetzung gleicher Reproduktionsleistungen in Abhängigkeit von

a, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 35 % - 80 % der maximalen Leistung),

b, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 35 % - 80 % der maximalen Leistung),

c, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % d. max. Leistung),

d, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 25 % - 75 % der maximalen Leistung),

e, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % der maximalen Leistung),

f, der Möglichkeit eines direkten Vergleichs und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % der maximalen Leistung).

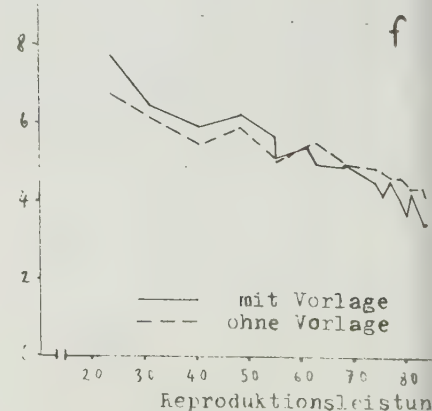
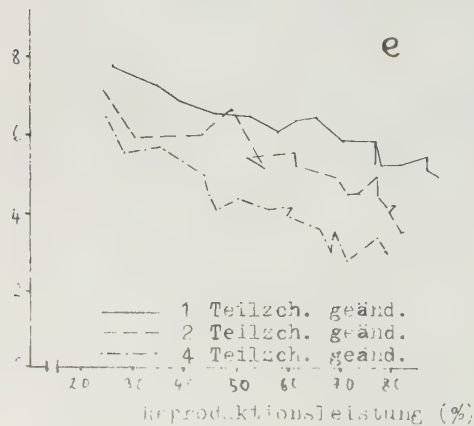
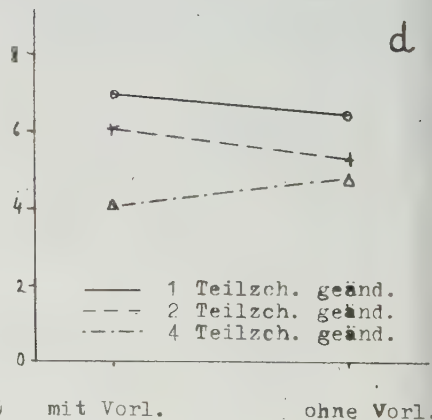
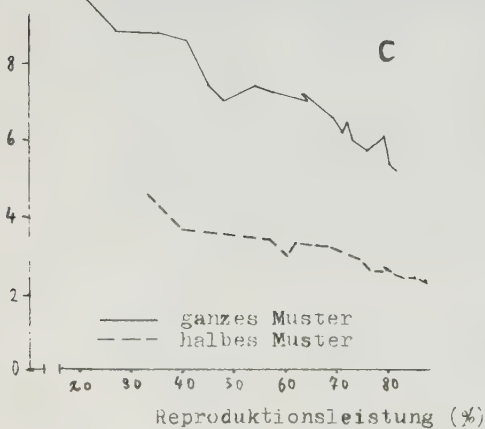
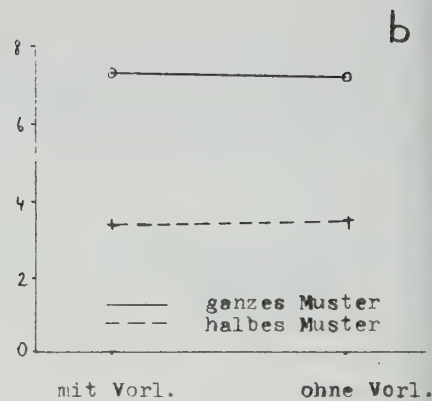


Abb. 10 a-f. Durchschnittliche Identifizierungszeit für ein nichtidentisches Muster (in Sekunden) unter der Voraussetzung gleicher Reproduktionsleistungen in Abhängigkeit von

a, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 35 % - 80 % der maximalen Leistung),

b, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 35 % - 80 % der maximalen Leistung),

c, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % der maximalen Leistung),

d, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 25 % - 75 % der maximalen Leistung),

e, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % der maximalen Leistung),

f, der Möglichkeit eines direkten Vergleichs und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % der maximalen Leistung).

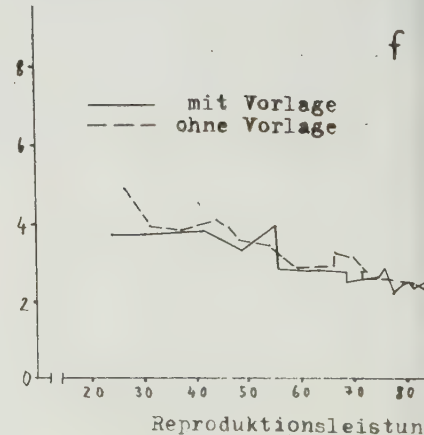
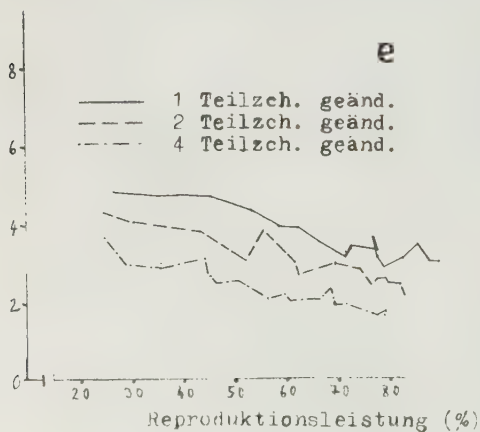
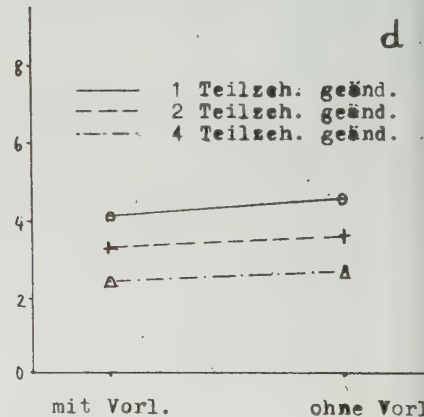
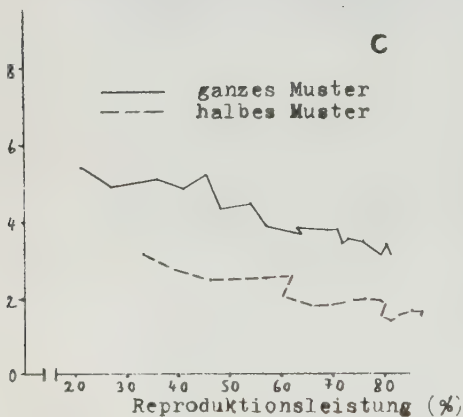
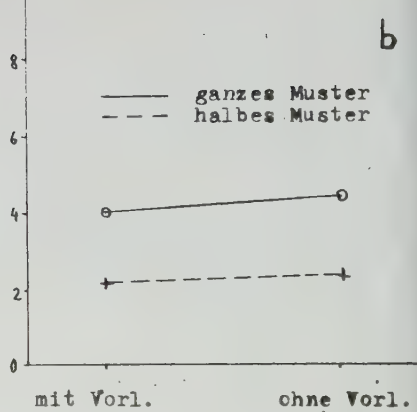
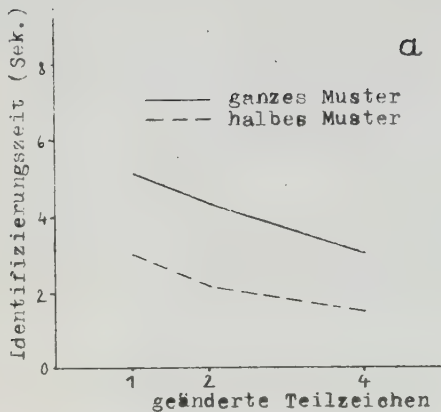


Abb. 11 a-f. Durchschnittliche Häufigkeit von Verwerfungsfehlern unter der Voraussetzung gleicher Reproduktionsleistungen in Abhängigkeit von

a, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 35 % - 80 % der maximalen Leistung),

b, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 35 % - 80 % der maximalen Leistung),

c, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % der maximalen Leistung),

d, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 25 % - 75 % der maximalen Leistung),

e, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % der maximalen Leistung),

f, der Möglichkeit eines direkten Vergleichs und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % der maximalen Leistung).

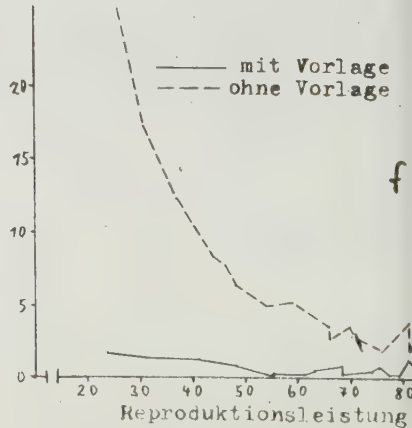
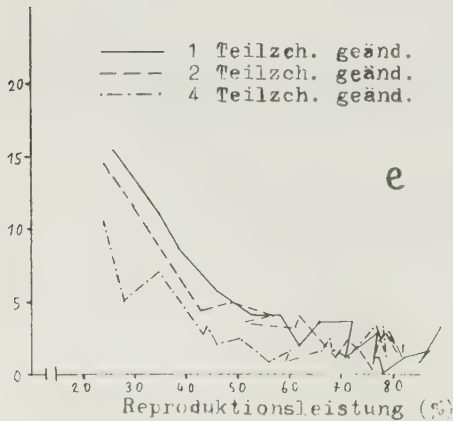
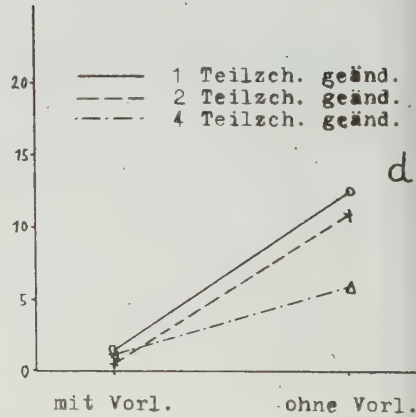
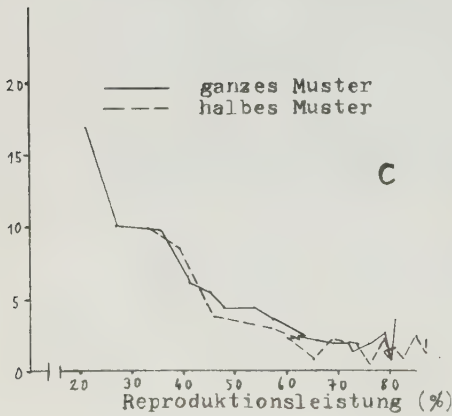
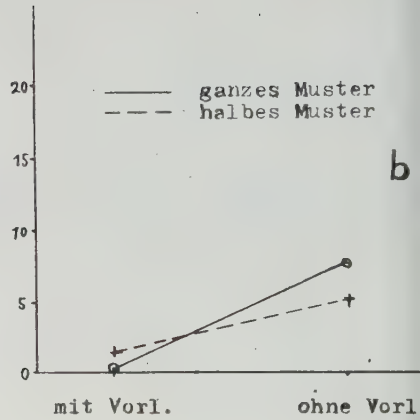
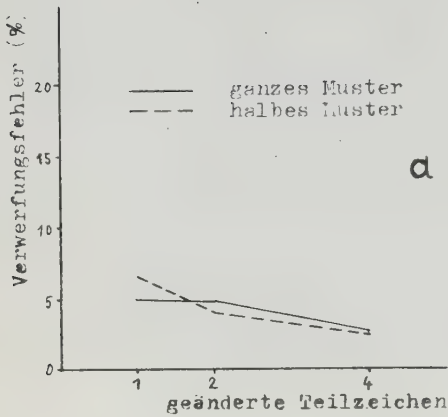


Abb. 12 a-f. Durchschnittliche Häufigkeit von Annahmefehlern unter der Voraussetzung gleicher Reproduktionsleistungen in Abhängigkeit von

a, der Komplexität der zu identifizierenden Muster und dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 35 % - 80 % der maximalen Leistung),

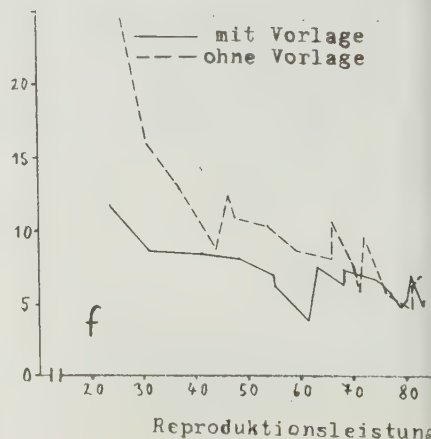
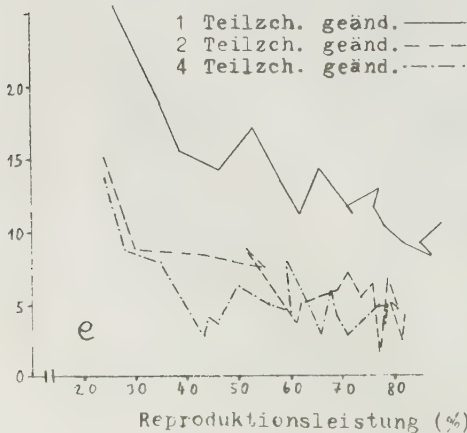
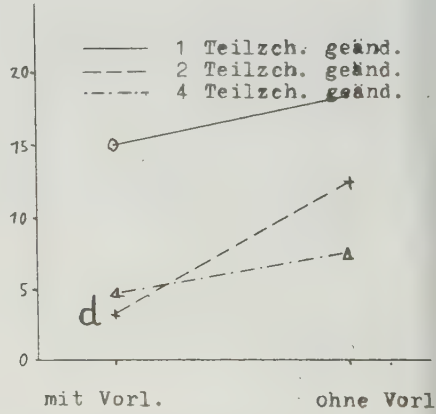
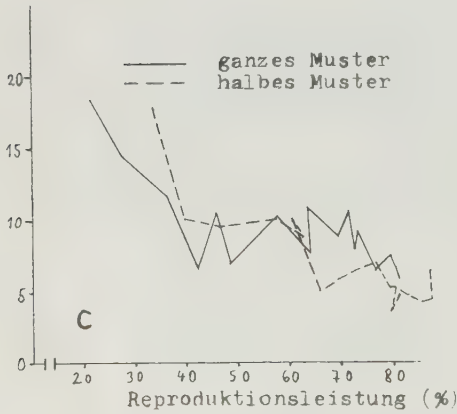
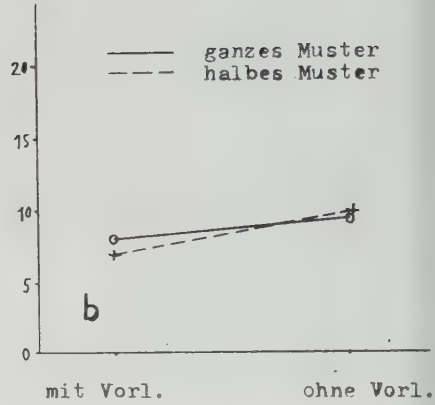
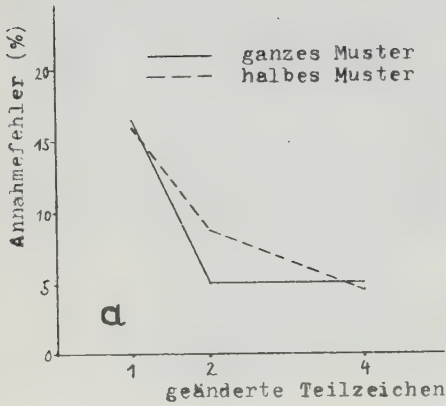
b) der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 35 % - 80 % der maximalen Leistung),

c) der Komplexität der zu identifizierenden Muster und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % der maximalen Leistung),

d, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der Möglichkeit eines direkten Vergleich (Bereich gemeinsamer Reproduktion: 25 % - 75 % der maximalen Leistung),

e, dem Grad der Abänderung der nichtidentischen Muster und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % der maximalen Leistung),

f, der Möglichkeit eines direkten Vergleichs und der jeweils erzielten Reproduktionsleistung (in % der maximalen Leistung) .



DISKUSSION I: PRÜFZEITEN FÜR IDENTISCHE UND NICHTIDENTISCHE MUSTER

Die im vorliegenden Versuch beobachteten Prüfzeit-Ergebnisse weichen erheblich von den eingangs erwähnten Befunden von Vanderplas & Garvin (1959) ab. Die Gründe lassen sich nur mutmaßen, da sich die beiden Versuche in mehr als einer Hinsicht unterscheiden. Zunächst fällt auf, daß die hier beobachtete Prüfzeit für ein Distraktor-Muster beträchtlich unter der für ein identisches Muster lag, während Vanderplas & Garvin eher höhere Identifizierungszeiten für die nichtidentischen Muster fanden. Die Gründe dürften in einem unterschiedlichen Abtastverhalten liegen, das durch die unterschiedlichen Versuchsmuster provoziert wurde. Während hier der Prüfvorgang bei Feststellung eines abweichenden Details abgebrochen wurde, prüften die Vpn im anderen Fall sowohl Standardmuster wie Distraktoren bis in alle Einzelheiten. Dies ist verständlich, weil im vorliegenden Experiment die Abweichungen auf eine oder wenige Stellen lokalisiert waren, während im anderen Fall alle Fixpunkte geändert waren. Durch exhaustives Abtasten konnte deshalb die Sicherheit der Entscheidung beträchtlich erhöht werden.

Vanderplas & Garvin fanden weiter einen weit unterproportionalen, negativ beschleunigten Anstieg der Prüfzeiten mit der Komplexität der Muster während sich hier plausiblerweise ein proportionaler Anstieg (beide Prüfzeiten zusammengenommen, bezogen auf gleiche Reproduktionsleistungen) zeigte. Der Grund für diese Unterschiede läßt sich nicht mit Sicherheit angeben. Möglicherweise werden komplexere Zufallsfiguren ganz allgemein weniger genau abgetastet. Wahrscheinlicher erscheint jedoch,

daß eine höhere absolute Unterschiedlichkeit der Distraktoren bei den komplexeren Mustern zu diesem Ergebnis zumindestens beigetragen hat. Im vorliegenden Versuch blieb die Anzahl der Abänderungen bei den komplexeren Mustern absolut gesehen gleich, während bei Vanderplas & Garvin absolut gesehen mehr Punkte geändert wurden. Mehr Abänderungen erlauben aber nach den Ergebnissen des vorliegenden Experiments kürzere Prüfzeiten, was den Effekt der Komplexität kompensieren könnte. Umgekehrt dürfte jedoch gleichzeitig eine Wechselwirkung "Komplexität x Übung" im Sinne einer Erhöhung der Prüfzeiten wirksam sein. Wie der vorliegende Versuch zeigt, werden komplexere Muster wesentlich langsamer erlernt (insbesondere dann, wenn wie bei den beiden Autoren die Zeit pro Übungsdurchgang für einfache und komplexe Muster konstant gehalten wird). Ein geringerer Lerngrad aber bedeutet nach den vorliegenden Befunden längere Prüfzeit.

Die letzte Unterschiedlichkeit - hier ein deutlicher Übungseffekt, dort praktisch keine Einflüsse auf die Blickzeiten - läßt sich am ehesten dadurch erklären, daß die Übung bei den beiden Autoren zu wenig variiert wurde. Während dort die Lernzeit zwischen 2×2 und 16×2 Sekunden schwankte, mußten hier nach einer einleitenden Lernzeit von 60 Sekunden insgesamt 360 Karten aussortiert werden, was je nach Versuchsbedingung weitere 15 bis 40 Minuten an reiner Prüf- bzw. Lernzeit erforderte. Dabei ist freilich zu beachten, daß die hier verwendeten Muster komplizierter sein dürften als die von Vanderplas & Garvin verwendeten Zufallsfiguren.

Die Befunde der beiden Autoren widersprechen somit nicht notwendigerweise den hier vorgelegten Ergebnissen. Wie aber lassen sich die beobachteten Abhängigkeiten erklären?

Theorie

Die beobachteten Prüfzeiten sind im wesentlichen als Indikator für die Genauigkeit des Abtastverhaltens zu werten. Eine Vp kann im einen Extrem jeden einzelnen Abschnitt, jeden Abzweigungs- und Endpunkt und jede räumliche Relation zwischen Einzelteilen des Musters in den Blick fassen, was sehr viel Zeit kostet, sie kann umgekehrt aber auch ein Muster in Sekundenbruchteilen zu erfassen suchen; dazwischen sind beliebige Übergänge möglich.

Was geschieht beim Abtasten? Die Frage läßt sich auf zwei Ebenen beantworten, einer objektiv nicht beobachtbaren, aber introspektiv prinzipiell erleb-
baren Ebene und einer wenigstens zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht beobachtbaren, theoretischen Ebene der physiologischen Grundlagen des Verhaltens. Beim prüfenden Wandern des Blicks geschieht introspektiv gesehen zweierlei. Erstens wird neue visuelle Information aufgefaßt (und damit der Speicherung zugeführt) und zweitens werden Teile des Musters, über die bereits Information gespeichert ist, als identisch oder nichtidentisch wiedererkannt. Eine Vp muß, um das Muster identifizieren zu können, zunächst erlernen, welche Striche wie zueinander angeordnet sind. Dieses Erlernen erfolgt offensichtlich nicht durch passives Betrachten, sondern setzt aktives Auffassen, d.h. ein Zentrieren der Aufmerksamkeit auf die einzelnen strukturellen Einzelheiten voraus. Da sich hierbei der Umfang der Aufmerksamkeit als eng begrenzt erweist, ist notgedrungen schrittweises Vorgehen, also Aufmerksamkeitswanderung und abtastende Blickwanderung nötig. Sind die verschiedenen Einzelheiten dann hinreichend erlernt, können sie auf Anhieb als identisch oder nichtidentisch wiedererkannt werden. Die beim Auffassen zu beobachtende Enge des Bewußtseins besteht hierbei nicht; es können

verschiedene Teile gleichzeitig erkannt werden. Zu Beginn des Versuchs steht mehr die Auffassung, gegen Ende mehr das Wiedererkennen im Vordergrund.

Die Instruktion fordert von den Vpn vor allen Dingen richtiges Aussortieren. Diese Forderung kann am besten durch genaues Abtasten erfüllt werden. Aufwendiges Abtasten führt zu schnellerem und genauerem Erlernen des Standardmusters, was ein sicheres Identifizieren der kritischen Muster zu einem relativ frühen Zeitpunkt gestattet. Aufwendiges Abtasten dürfte aber auch deshalb die Identifizierung erleichtern, weil mehr Teile der kritischen Muster in den Bereich der fovealen Abbildung geraten. Dies bedeutet aber, daß präzisere sensorische Information aufgenommen wird, was dem Wiedererkennen nur förderlich sein kann. Aufwendiges Abtasten trägt dank schnellerem Lernfortschritt aber auch der Forderung nach möglichst vollständiger Reproduktion Rechnung. Unbegrenztem Abtastaufwand steht jedoch andererseits ein wichtiger Faktor entgegen: Die Vpn wurden auch angewiesen, möglichst schnell auszusortieren. Angesichts dieser gegensätzlichen Forderung wird im manifesten Verhalten mit einem Kompromiß zu rechnen sein, einem Kompromiß, der je nach äußeren (Komplexität, Ähnlichkeit, Möglichkeit eines direkten Vergleichs) oder inneren Umständen (Anteil der zur Identifizierung bereits verfügbaren, gelernten Information) anders ausfallen wird.

Die verschiedenen Eigenheiten der abtastenden Wahrnehmung geben zu weitreichenden Annahmen über die nichtbeobachtbaren Grundlagen der visuellen Verarbeitung Anlaß, die im theoretischen Teil der Arbeit in geschlossener Weise dargestellt sind. Die Theorie geht davon aus, daß eine zentralnervöse Einrichtung, die vor aller Erfah-

rung funktioniert, retinale Einzelmeldungen gleicher Qualität (Farbe, Helligkeit) zusammenfaßt. Physiologisch geschieht dies möglicherweise durch einen "Magnet-Effekt" (vergl. v. Holst, 1937, 1939), der neuronale Einzelentladungen in Phasengleichheit zwingt, so daß Gruppen von Zellen "wie ein Mann" feuern. Anschaulich führt dies u.a. zur Ausgliederung homogener, in sich konsistenter Flächen. Das resultierende organisierte Erregungsmuster wird in einfachen, komplexen, hyperkomplexen und noch höher komplexen Zellen (Hubel & Wiesel, 1962, 1965; Gross et alii, 1972), die strukturelle Einzelinformationen über die Farbe, die Form und die räumliche Lage kodieren, weiterverarbeitet. Die Aktivität dieser Zellen ist zunächst noch isoliert; sie ermöglicht bei erfahrungslosen Individuen die attentive Wahrnehmung struktureller Einzelheiten (z.B. von Konturabschnitten), aber noch nicht ganzheitlicher Formen. Zeitlich koinzidente Aktivität solcher struktursensiblen Zellen führt zu einer im einzelnen noch unbekannten Verknüpfung zwischen den beteiligten Zellen, die eine interneuronale Erregungsausbreitung erlaubt. Über die Bahnung solcher neuronaler Interaktionswege wird die im visuellen Input enthaltene, nicht mehr weiter rückführbare strukturelle Information erlernt. Die Aktivierung eines Interaktionsverbandes führt zu wiedererkennendem Wahrnehmen, d.h. zu einer Wahrnehmung, die durch relativ großen Umfang gleichzeitig erfaßter Einzelheiten, durch "Interpretation" der rezipierten Information im Sinne der Erfahrung und durch hohe Diskriminierungsleistung gekennzeichnet ist. Ein nachfolgend auftretender, gleichartiger Input wird dabei in jeweils dieselben Bahnen kanalisiert, weil all die neuronalen Verbindungen zwischen den Zellen verstärkt sind, die bei der ursprünglichen Bahnung aktiviert waren. Gleichzeitig verstärkt die erneute Aktivierung weiter die Bahnung. Die Theorie nimmt weiter an, daß die Willkür die Fähigkeit besitzt, selektiv bereits bestehende Interaktionsverbände - gleichzeitig aber immer nur einen - zu aktivieren und die sensorische Aktivierung aller anderen zu hemmen.

Nach dieser Theorie ist die qualitative Organisation des Wahrnehmungsfeldes, die sich etwa in der Wahrnehmung der im Versuch verwendeten Stimuli als zusammenhängende, figurhafte Muster auf weißem Grund äußert, Folge einer primären Verarbeitungseinrichtung. Die Tatsache, daß strukturelle Information, d.h. Information über die Art und Anordnung von bereits aus anderem Kontext bekannten Einheiten (hier die Striche des Musters) gelernt wird, findet in der Annahme neuronaler Interaktionsverbände, die logischerweise auch auf bereits bestehende Verbände aufbauen können, ihre theoretische Entsprechung. Das automatische, beliebig viele bereits bekannte Einzelheiten gleichzeitig umfassende Wiedererkennen erklärt sich durch die Erregungsausbreitung innerhalb der Grenzen der durch Lernen erworbenen Interaktionsverbände. Die Theorie erklärt weiter das Faktum, daß Lernen Aufmerksamkeit voraussetzt: Neuronale Aktivität ist gleichzeitig Voraussetzung der attentiven Wahrnehmung und der weiteren interneuronalen Bahnung. Der Beschränkung des Auffassens neuer Einzelheiten durch die Enge des Bewußtseins und der sukzessiven Steuerung des Abtastprozesses wird schließlich durch die Annahme der selektiv aktivierenden Wirkung des Willens als Basis der willkürlichen Aufmerksamkeit Rechnung getragen.

Theoretische Ableitung der Einzelbefunde

Mit Hilfe dieser Annahmen lassen sich zunächst die einfachen Wirkungen der unabhängigen Variablen erklären. Der proportionale Anstieg der beiden Prüfzeiten mit der Komplexität der Muster hat triviale Ursachen: Wenn mehr vergleichbare Teile abzutasten sind, so kostet dies verständlicherweise auch mehr Zeit (vergl. Tab. 1).

Hinsichtlich des Einflusses der Ähnlichkeit der Distraktoren kann man davon ausgehen, daß die Feststellung der Nichtidentität eines Testmusters das Erfassen wenigstens eines abweichenden Details erfordert. Sind nun vergleichsweise viele Teilzeichen bei den Distraktoren der Testserien verändert worden, so genügt eine vergleichsweise geringere Informationsstichprobe, die durch oberflächlicheres, rascheres Abtasten gewonnen werden kann, um mit genügender Sicherheit sicher zu stellen, daß sich die nötige widersprüchliche Information - so überhaupt in der "Grundgesamtheit" vorhanden - in dieser Stichprobe findet (vergl. Tab. 2).

Das Vorhandensein eines Vorlagemusters führte zu einer etwas geringeren Prüfzeit. Bedenkt man, daß in diesem Fall laufend mit dem Blick zwischen Vorlagemuster und kritischem Muster gewechselt wird und damit beide Muster an Stelle nur des kritischen abgetastet werden, so wäre eher das Gegenteil zu erwarten gewesen. Die Gründe für diese Verkürzung sind nicht recht einsichtig. Eine Vp, die mit Vorlagemuster arbeitet, kann beim Betrachten eines Testmusters die bereits bekannten Teile in ähnlicher Weise unmittelbar identifizieren wie eine Vp ohne Vergleichsmuster. Sie wird ferner wie diese im Rahmen der Spanne des unmittelbaren visuellen Behaltens die noch nicht bekannten Einzelheiten sukzessive auffassen und durch Blickwechsel verifizieren. Die Vp ohne Vorlagemuster wird stattdessen ohne Unterbrechung mit dem Auffassen und Identifizieren fortfahren. Auch aufgrund der beim Prüfen erfolgenden kognitiven Prozesse wäre demnach ein anderes Ergebnis zu erwarten gewesen. Möglicherweise führt die Unsicherheit der Entscheidung bei Fehlen eines Vergleichsmusters zu einem fortwährenden Zögern, die die durch direktes Vergleichen bedingten Zeitverluste mehr als wettmacht (vergl. Tab. 3).

Der Abfall der Blickzeit im Laufe der Übung erklärt sich aus der allmählichen Vervollständigung der Spur über das Standardmuster. Zu Beginn des Versuchs sind die Vpn gezwungen, jede strukturelle Einzelheit der Testmuster erst einmal neu zu erfassen, was wegen der Enge des Bewußtseins nicht gleichzeitig, sondern nur nacheinander erfolgen kann. Ist dann die eine oder andere Einzelheit gespeichert, so werden diese Einzelheiten bei einer nachfolgenden Durchsicht simultan wiedererkannt. Im weiteren Verlauf werden zunehmend mehr Details gleichzeitig identifiziert und die Menge der Einzelheiten, die nach wie vor sukzessive erfaßt werden muß, nimmt ab. Die Blickzeit verkürzt sich entsprechend laufend (vergl. Tab. 4).

Weiter lassen sich auch die beobachteten Wechselwirkungen gut erklären. Die drei Variablen "Ähnlichkeit", "Möglichkeit eines direkten Vergleichs" und "Übung" wirken sich nach den bisherigen Überlegungen auf den Abtastaufwand, d.h. also die Klickgeschwindigkeit aus. Wird nun die Menge vergleichbarer struktureller Einzelheiten eines Musters geändert, so muß sich die Gesamtabtastzeit proportional mitändern. Es ist demnach eine multiplikative Wirkung der Komplexität einerseits und der genannten drei Variablen andererseits zu erwarten. Genau dies läßt sich in guter Annäherung beobachten, wenn gleiche Reproduktionsleistungen zugrundegelegt werden (Abb. 9 a, 9 b, 9 c und 10 a, 10 b, 10 c).

Die Wechselwirkung "Ähnlichkeit" mal "Möglichkeit eines direkten Vergleichs" läßt sich dahingehend charakterisieren, daß die erstere Variable die Größe der Informationsstichprobe bestimmt, die zu einer relativ sicheren Entscheidung nötig ist, während die zweite Variable zur Folge hat, daß diese Stichprobe auf sehr unterschiedliche Weise und mithin in unterschiedlicher

Geschwindigkeit gewonnen wird. Dies würde bedeuten, daß die für die Informationsgewinnung nötige Prüfzeit proportional mit der geforderten Menge an Information und umgekehrt proportional mit der jeweiligen Rate der Informationsgewinnung steigt. Die empirischen Daten lassen, von zufälligen Schwankungen abgesehen, tatsächlich die aufgrund dieser Überlegungen zu erwartende multiplikative Wirkung der beiden Faktoren erkennen (Abb. 9 d und 10 d).

Hinsichtlich der Wechselwirkung "Ähnlichkeit" mal "Übung" ist folgendes zu erwarten: Zu Beginn des Lernprozesses läßt sich überhaupt nicht entscheiden, ob ein vorliegendes Testmuster identisch oder nichtidentisch ist. Entsprechend ist zu diesem Zeitpunkt gleiche Prüfzeit für alle Serien anzunehmen, unabhängig davon, wie stark die nichtidentischen Muster der Serien abgeändert sind. Mit fortschreitendem Lernprozeß lassen sich Standardmuster und Distraktoren zunehmend besser unterscheiden, insbesondere dann, wenn sie sehr verschieden sind. Der Abtastaufwand kann entsprechend bevorzugt bei den Serien mit vielfältiger abgeänderten Distraktoren reduziert werden. Am Ende des Lernprozesses kann der Lerngrad schließlich ein Maß erreichen, bei dem keine neue Information mehr aufgenommen werden muß und nahezu beliebige Abweichungen mit einem Blick erkannt werden können. Im Laufe des Lernfortschritts sind entsprechend für Serien mit unterschiedlich ähnlichen Distraktoren Prüfzeiten zu erwarten, die ausgehend vom selben Punkt zunächst divergieren, dann aber wiederum einem gemeinsamen Punkt zustreben. Betrachtet man dahingehend die empirischen Daten, so zeigt sich eine tendentielle Übereinstimmung. Die Verlaufskurven weisen zwar keinen gemeinsamen Ausgangspunkt aus - verständlicherweise, da die Messungen zu einem Zeitpunkt einsetzen, zu dem bereits eine gewisse Voererfahrung besteht - zeigen dann aber die erwartete Divergenz,

die virtuell von einem gemeinsamen Punkt auszugehen scheint. Die im weiteren Verlauf erwartete Konvergenz fehlt ebenfalls. Dies erklärt sich dadurch, daß die Messungen zu früh, vor Erreichen eines maximalen Lerngrades, abgebrochen wurden (Abb. 9 e und 10 e).

Für die Wechselwirkung "Übung" mal "Möglichkeit eines direkten Vergleichs" ist, wie bereits erläutert, davon auszugehen, daß bei fehlendem Vorlagemuster die zur Identifizierung nötige Information durch alleinige Blick- und Aufmerksamkeitswanderung gewonnen wird, während beim Vorhandensein eines Vorlagemusters noch zusätzlich eine zweite Quelle zur Verfügung steht. Wird nun im Laufe der Durchgänge das Standardmuster zunehmend erlernt, so können im ersten Fall zunehmend mehr Teilstrukturen unmittelbar erkannt werden und zunehmend weniger müssen neu erfaßt werden. Dies gilt in ähnlicher Weise auch für den Fall, daß ein direkter Vergleich mit dem Vorlagemuster möglich ist: Auch hier werden mehr und mehr Details sofort identifiziert und nur mehr der verbleibende Rest muß durch direktes Vergleichen gesondert geprüft werden. Aufgrund dieser Überlegungen ist zu erwarten, daß sich die Zeiten im Laufe der Übung in beiden Versuchsanordnungen einander annähern, ganz gleich, wie unterschiedlich sie zunächst waren. Betrachtet man dahingehend die empirischen Daten, so fällt auf, daß die Prüfzeiten für die identischen Muster in beiden Bedingungen wider Erwarten gegen Ende des Versuchs zunehmend voneinander differierten. Die Unterschiede müssen Zufallseinflüssen zugeschrieben werden. Für eine solche Annahme spricht immerhin, daß die vergleichbaren Ergebnisse für die Distraktoren, für die dieselben Überlegungen gelten, tatsächlich den geforderten Verlauf aufweisen (Abb. 9 f und 10 f). Im übrigen lassen auch die introspektiven Berichte den zu erwartenden allmählichen Abbau des direkten Vergleichs und den Übergang zum alleinigen Abtasten des kritischen Musters erkennen.

DISKUSSION II: ANNAHME- UND VERWERFUNGSGEFÜHLE

Die im vorliegenden Versuch beobachteten Abhängigkeiten der Erkennungsfehler bestätigen die bisher vorliegenden Ergebnisse: Höhere Komplexität, größere Ähnlichkeit und geringere Übung erhöhen die Wahrscheinlichkeit von Annahme- und Verwerfungsfehlern. Die Übereinstimmung ist umso bemerkenswerter, als die Beziehungen unter vielfältigen experimentellen Nebenbedingungen festgestellt wurden. Offensichtlich liegt hier eine sehr durchgängige Gesetzmäßigkeit vor. Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs erbrachte wie zu erwarten eine beträchtliche Fehlerreduktion, konnte aber speziell Annahmefehler bei weitem nicht eliminieren. Wiewohl einige der beobachteten Phänomene schon seit längerem bekannt sind, fehlen Erklärungsansätze praktisch völlig.

Theorie

Um die vorliegenden Ergebnisse erklären zu können, ist prinzipiell anzunehmen, daß zwei Arten von Prozessen zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen vermitteln: Erstens Prozesse, die Informationen im menschlichen Bewußtsein verfügbar machen und zweitens Prozesse, die auf der Basis dieser Informationen zu Entscheidungen führen. Ein Modell, das dieser Unterscheidung Rechnung trägt, liegt in der Signal-Entdeckungs-Theorie vor. Dieses Modell muß jedoch zu Gunsten eines mehrdimensionalen Modells verworfen werden, weil die Voraussetzungen, von denen es ausgeht, im Bereich des Wiedererkennens nicht gegeben sind.

Kritik der Signal-Entdeckungs-Theorie

Die Signal-Entdeckungs-Theorie wurde ursprünglich für Probleme der Psychophysik und des Wahlverhaltens entwickelt (Tanner & Swets, 1954; Pollack & Decker, 1958; Egan, Schulman & Greenberg, 1959; Swets, Tanner & Birdsall, 1961; Swets, 1964; Green & Swets, 1966; Egan, 1973;) und später auf Wiedererkennensprobleme angewandt (u.a. Egan, 1958; Parks, 1966; Bernbach, 1967; Freund, Loftus & Atkinson, 1969; Banks, 1970; Lockhart & Murdock, 1970). Sie nimmt ein eindimensionales Entscheidungskontinuum an, auf das dann eine bestimmte Entscheidungsregel angewendet wird. Dieses Kontinuum ist ursprünglich als Verhältnis der Wahrscheinlichkeitsdichte der Summe eines Sinnessignals und des Rauschens und der Wahrscheinlichkeitsdichte des Rauschens allein definiert. Bei der Anwendung auf Wiedererkennensprobleme wird das Kontinuum vielfach als "familiarity"-Kontinuum bezeichnet, ohne daß - von einigen Ausnahmen abgesehen - auf das Zustande-Kommen dieser Skala näher eingegangen wird. Wickelgren und Norman (1966; Norman & Wickelgren, 1969; Wickelgren, 1970, 1972) nehmen in ihrer continuous strength theory als Grundlage dieses Kontinuums unterschiedliche Spurenstärken an. Nach der neueren Ein-Spur-zwei-Prozesse-Theorie von Wickelgren (1975 b) besitzt dabei diese Spurenstärke zwei dynamische Eigenschaften, eine, die auf Interferenz durch nachfolgendes Lernen, und eine, die auf einem bloßen Verstreichen der Zeit beruht. Kintsch (1967) identifiziert die drei Stadien seines Markov-Modells des Lernens mit bestimmten Regionen des Bekanntheitskontinuums. Bernbach (1967) hingegen nimmt in seinem Zwei-Stufen-Modell für jeden der beiden Zustände (vergessen oder erinnert) eine Wahrscheinlichkeitsverteilung auf seiner "apparent oldness"-Skala an. Wollte man dieser Konzeption folgen, so könnte man auch im Fall des vorliegenden Experiments eine kontinuierliche Entscheidungsachse

unterstellen, auf der die nichtidentischen ("neuen") Muster und das identische Muster ("alte" Muster) bestimmte Werte einnehmen würden. Mit Hilfe eines nichtparametrischen Maßes für Einzelmeßwerte, wie es etwa von Pollack & Norman (1964) vorgeschlagen wird, ließen sich die beobachteten Annahme- und Verwerfungsfehlerhäufigkeiten auf einen Index des Verhaltens reduzieren, der den Einfluß des persönlichen Entscheidungskriteriums eliminiert.

Der Wert eines solchen Vorgehens scheint jedoch äußerst zweifelhaft. Man kann, ohne konkretere physiologische Annahmen machen zu müssen, in jedem Fall davon ausgehen, daß das Wiedererkennen irgendwie auf dem In-Verbindung-Treten zweier Informationssätze beruht: eines afferenten über ein vorliegendes kritisches Muster und eines in irgendeiner Form gespeicherten über das Standardmuster. Bei einer Gegenüberstellung dieser Informationssätze lassen sich prinzipiell mehrere Zuordnungskategorien unterscheiden (s.u.), die sich wohl schwerlich auf einem einzelnen Kontinuum abbilden lassen. Die introspektiven Berichte lassen überdies mindestens drei Kategorien (unbekannte, bekannt-übereinstimmende und bekannt-widersprüchliche Teile) als gerechtfertigt erscheinen, die sich allenfalls zu zwei Kontinua (von unbekannt zu übereinstimmend bekannt und von unbekannt zu mit Sicherheit als widersprüchlich bekannt) ordnen ließen. So wundert es denn nicht, daß die Signal-Entdeckungstheorie zwar den Effekt der Übung (als durch das Lernen bewirkte Verschiebung auf der Bekanntheitsachse), nicht aber den Ähnlichkeitseffekt erklären kann. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, wird im folgenden ein völlig anderer Weg der Analyse eingeschlagen.

Informationskomponenten

Stellt man die beiden fraglichen Informationssätze - den afferenten neuen und den gespeicherten alten - einander gegenüber, so läßt sich zunächst ein korrespondierender und ein nichtkorrespondierender Bereich unterscheiden: Es ist denkbar, daß der eine oder andere Satz Information enthält, in Bezug auf die der andere unvollständig ist. Enthält der afferente Satz Information, die dem gespeicherten fehlt, so kann von "afferenter Überschußinformation" gesprochen werden. Enthält umgekehrt der gespeicherte Satz Information ohne afferente Entsprechung (etwa weil verschiedene Teile eines Musters nur auf peripheren Stellen der Netzhaut abgebildet werden), so soll von "gespeicherter Überschußinformation" die Rede sein. Beide Informationskomponenten kann man unter dem Terminus "neutrale Information" zusammenfassen, womit ausgedrückt werden soll, daß bei dieser Art von Nichtübereinstimmung die Diskrepanz durch "Leer"-Stellen zustandekommt, d.h. durch Stellen, an denen Information verlorengegangen oder nicht erworben ist. Es läßt sich hierbei nicht unterscheiden, ob an diesen Stellen übereinstimmende oder widersprüchliche Information fehlt. Innerhalb des korrespondierenden Bereichs kann nun gänzliche Übereinstimmung bestehen, es können aber auch Widersprüche auftreten. Entsprechend läßt sich weiter eine "übereinstimmende" von einer "widersprüchlichen" Informationskomponente unterscheiden. Beide Informationskomponenten kann man zusammengefaßt als "kritische Information" gegen die neutrale Information absetzen, da sie prinzipiell eine Identitätsentscheidung gestattet. (Hinsichtlich der widersprüchlichen Information ließen sich im einzelnen noch drei Unterarten unterscheiden: Der erste Informationssatz kann Information enthalten, die dem zweiten ausdrücklich fehlt; dabei ist im Unterschied zur afferenten Überschußinformation positiv bekannt, daß diese Information im gespeicherten Satz nicht enthalten ist.

Der gespeicherte Informationssatz kann umgekehrt Information aufweisen, die beim afferenten ausdrücklich nicht vorhanden ist. Schließlich können beide Sätze Information aufweisen, die direkt widersprüchlich ist. Dieser dritte Fall entspricht in gewisser Weise einer Kombination der beiden anderen Fälle. Diese eingehendere Unterscheidung ist für den vorliegenden Versuch jedoch bedeutungslos.)

Wie treten die beiden Informationssätze miteinander in Verbindung? Die Frage ist insofern wichtig, als die verschiedenen, prinzipiell unterscheidbaren Informations-Komponenten auch im Bewußtsein unterscheidbar sein müssen, wenn sie die Identitätsurteile beeinflussen sollen. Nach der hier vertretenen Theorie werden die beiden am Wiedererkennen beteiligten Informationen nicht getrennt bewußt; es findet kein Vergleich im eigentlichen Sinne statt. Das von der Retina gelieferte afferente Erregungsmuster als Träger des einen Informationssatzes erregt vielmehr in den primären, sekundären und tertiären Projektionsgebieten spezifische Neurone, die nach Maßgabe der bisherigen Erfahrung zu Interaktionsverbänden zusammengeschlossen sind; die Interaktionsverbände stellen dabei den physischen Träger des zweiten, gespeicherten Informationssatzes dar. Die neuronale Aktivität dieser höheren Zentren (die mnestiche bzw. perzeptive Erregung) ist von bewußtem Erleben begleitet. Sie stellt den Träger eines dritten Informationssatzes dar, der sozusagen das Ergebnis des In-Verbindung-Tretens des ersten und zweiten Satzes enthält und allein bewußt wird. Neue Teilformen eines Musters - sie geben Anlaß zu afferenter Überschußinformation - werden dabei durch das Aktivitätsmuster isoliert arbeitender Einzelzellen repräsentiert. Subjektiv erscheinen entsprechende Einzelheiten als unbekannt bzw. noch nicht als bekannte Bestandteile des Gesamtmusters. Aufgrund von eingeschränkten Wahrnehmungsbedingungen u.U. zu erwartende gespeicherte Überschuß-

information ist dagegen im resultierenden mnestischen Erregungsmuster nicht als solche kenntlich. Nach der Theorie wird ein Neuronen-Verband immer als Ganzes aktiviert. Da die subjektive Wahrnehmung ausschließlich von der resultierenden mnestischen Erregung abhängt, merkt eine Person gar nicht, daß die afferente Basis schmaler war als das phänomenale Ergebnis. Genügend oft erfahrene, identische Teile - sie geben Anlaß zu übereinstimmenden Informationssätzen - führen demgegenüber zu einem ganzheitlichen Erregungsmuster eines neuronalen Interaktionsverbandes; entsprechende Teile werden simultan als bekannt und zusammengehörig wiedererkannt. Eine (partielle) Nichtübereinstimmung zwischen afferentem und gespeichertem Erregungsmuster bei Vorliegen eines nichtidentischen Testmusters wird gleichfalls durch den physiologischen Verarbeitungsmechanismus registriert. Die übereinstimmenden Teile des afferenten Erregungsmusters rufen ein fragliches mnestisches Erregungsmuster als Ganzes, also einschließlich der nicht übereinstimmenden Teile hervor. Gleichzeitig reaktivieren die abweichenden Teile der afferenten Erregung die eine oder andere Primärzelle bzw. Zellverband. Die Diskrepanz zwischen den beiden mnestischen Mustern wird bewußt; entsprechende Teile erscheinen als deutlich abweichend.

Für den Fall optimaler Wahrnehmungsbedingungen, wie sie im Versuch vorherrschten, kann keine gespeicherte Überschußinformation auftreten. Der Anteil der positiv bekannten und deutlich abweichend erscheinenden Information beim Betrachten des Testmusters entspricht in diesem Fall in etwa dem Anteil der kritischen Information bei Gegenüberstellung des afferenten und gespeicherten Informationssatzes, während der Anteil der subjektiv unbekannt erscheinenden Information dem Anteil der neutralen Information entspricht. Die kritische Information stellt in Bezug auf die Grundgesamtheit der Infor-

mation, die man erhalten würde, wenn komplette afferente und gespeicherte Informationssätze zur Verfügung stehen würden, nur eine Stichprobe dar. Die Größe dieser Stichprobe hängt davon ab, wieviel Information aufgrund von mangelhaftem Abtasten, unvollständiger Spurenbildung, Schwächen des kurzfristigen Behaltens bei gegebener Möglichkeit eines direkten Vergleichs usw. auf der einen oder anderen Seite verloren gegangen ist.

Die Verteilung der Urteile bei ausschließlicher Betrachtung der verfügbaren Informationskomponenten

Man kann nun weiter überlegen, was passieren würde, wenn eine Vp ihre Urteile ausschließlich auf die ihr positiv oder negativ bekannten Teile, d.h. auf die kritische Information gründen würde. Läge ein identisches Testmuster vor, so wären ausschließlich Annahmen, also 0 % Verwerfungsfehler zu erwarten. Dies wäre der Fall, weil die beiden Ausgangs-Sätze völlig übereinstimmen und mithin auch jegliche Stichprobe nur übereinstimmende Information enthalten kann. Läge hingegen ein nichtidentisches Muster vor, so wären neben einer Mehrheit richtiger Verwerfungen gelegentlich auch Annahmen und damit Annahmefehler zu erwarten und zwar immer dann, wenn zufällig keine widersprüchliche Information in die Stichprobe gerät. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Fehlurteils läßt sich ausgehend von der Menge der übereinstimmenden und widersprüchlichen Information in der Grundgesamtheit und der Größe der kritischen Stichprobe prinzipiell angeben. Dabei ist jedoch zu beachten, daß die Aufnahme eines übereinstimmenden oder widersprüchlichen Informationselements in die Stichprobe die proportionale Zusammensetzung der verbleibenden Elementente eines Typs beeinflußt. Ein wahrscheinlichkeitstheoretisches Modell, das diesen Überlegungen Rechnung trägt, liegt in der sog. "Hypergeometrischen Verteilung" (allg. math. Darst.: Förstner et alii, 1973) der Form

$$H_n^{N_1 N_2}(\{k\}) = OZ_{K \ n-k}^{N_1 N_2} = \begin{pmatrix} N_1 + N_2 \\ n \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} N_1 \\ k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_2 \\ n-k \end{pmatrix} \quad (1)$$

vor, wobei

N_1 = Anzahl der widersprüchlichen Informationseinheiten in der Grundgesamtheit,

N_2 = Anzahl der übereinstimmenden Informationseinheiten in der Grundgesamtheit,

$N = N_1 + N_2$ = Gesamtzahl der Informationseinheiten in der Grundgesamtheit,

n = Stichprobenumfang, Anzahl der kritischen Informationseinheiten,

k = Anzahl der in der Stichprobe enthaltenen widersprüchlichen Informationseinheiten.

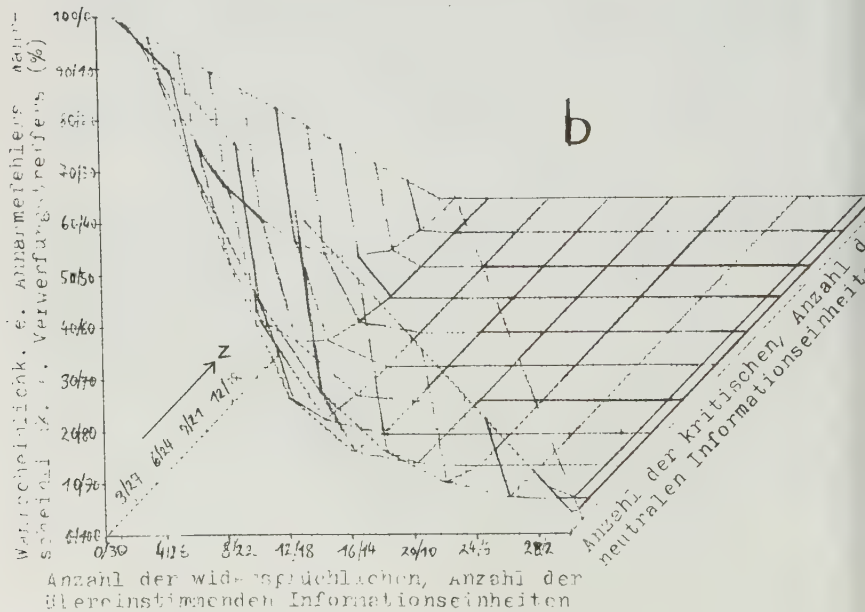
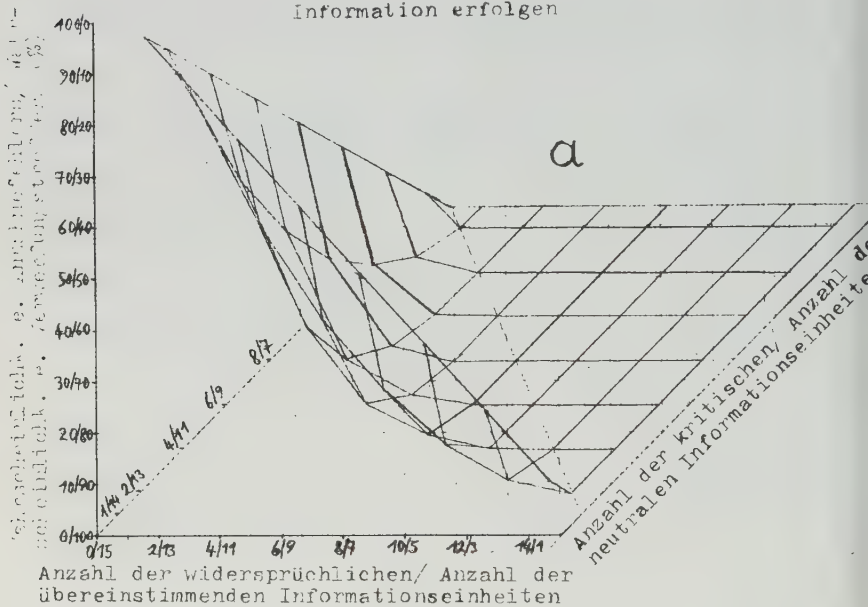
"OZ" bedeutet "ohne Zurücklegen" und bezieht sich auf das in solchen Fällen übliche Kugelmodell.

Aus Beziehung (1) läßt sich u.a. die Wahrscheinlichkeit errechnen, daß null widersprüchliche Informationseinheiten in einer Stichprobe bestimmter Größe aus einer Grundgesamtheit bestimmter Zusammensetzung enthalten sind und somit Annahmefehler erfolgen. Die Abb. 13 zeigt zwei Beispiele resultierender Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Abb. 13 a wurde eine Grundgesamtheit von 15, Abb. 13 b eine von 30 Informationseinheiten zugrundegelegt, ferner wurde davon ausgegangen, daß mindestens eine widersprüchliche Informationseinheit (d.h. eine oder mehr) nötig ist, um zu einer richtigen Entscheidung zu gelangen.

Die Verteilung der Urteile bei zusätzlicher Beachtung der Quote identischer und nichtidentischer Muster

Die bisherigen Überlegungen gingen davon aus, daß die Vpn ihre Identitätsentscheidungen ausschließlich auf die ihnen zur Verfügung stehende Information gründen. Nun steht jedoch den Vpn noch eine zweite Informationsquelle zur Verfügung: Sie merken sehr rasch, daß Standardmuster und Distraktoren im Verhältnis von 50 : 50 vorhanden sind. Folgen nun eine Reihe von Annahmen aufeinander, weil zufällig mehrere identische Muster aufeinanderfolgend geboten wurden oder weil Annahmefehler gemacht werden, so wächst die subjektive Überzeugung, daß ein nachfolgendes Testmuster nichtidentisch ist. Auch wenn nun ein solches Muster neben noch unbekannten Linienverläufen ausschließlich bekannt-identische aufweist, so wird es mitunter dennoch verworfen, weil hinter den unbekannten Teilen Abänderungen vermutet werden. Mit anderen Worten, die Vpn orientieren ihre Entscheidungen auch an der bekannten Verteilung von identischen und nichtidentischen Mustern, ein Faktum, das schon von Parks (1966) beobachtet und im Kontext der Signal-Entdeckungs-Theorie genauer untersucht wurde. Nachdem nun Annahmefehler auf der Grundlage der mnestischen Information gemäß Beziehung (1) über weite Bereiche unvermeidlich sind, werden Annahmeentscheidungen prozentual zwangsläufig überwiegen und deshalb laufend "korrigierende" Urteile auf der Grundlage des Wissens über die Quote der beiden Musterarten provozieren. Da identische und nichtidentische Muster weitgehend zufällig aufeinanderfolgen, treffen diese Urteile zufällig zur Hälfte identische Muster und führen damit zu Verwerfungsfehlern, zur Hälfte treffen sie aber auch nichtidentische Muster und reduzieren damit die Anzahl (und damit den Überhang) der Annahmefehler. Der Prozentsatz der Verwerfungsfehler gibt demnach etwa den

Abb. 10. Theoretisches Modell für die Häufigkeit von Annahmefehlern unter der Voraussetzung, daß Identitätsurteile ausschließlich auf der Basis verfügbarer perzeptiv-mnestischer Information erfolgen



halben Prozentsatz der Urteile an, die auf Quotenbasis erfolgen. Zählt man aber Annahme- und Verwerfungsfehler zusammen, so erhält man eine Schätzung der "unkorrigierten" Fehlerhäufigkeiten, die nach dem Stand der mnestischen Information zu erwarten gewesen wären. Da im allgemeinen die Bereitschaft zu einem Quotenurteil um so höher sein wird, je stärker die Quote der Annahmen und Verwerfungen von der Quote der identischen und nichtidentischen abweicht, wird man im übrigen auch erwarten können, daß Annahme- und Verwerfungsfehler kovariieren.

Man kann zusammenfassen, daß

- die Summe der Annahme- und Verwerfungsfehler einen Index der virtuellen Annahmefehler bildet, die nach (1) zu erwarten gewesen wären,
- die Anzahl der Verwerfungsfehler direkt angibt, wieviele Quotenurteile beim Vorliegen identischer Muster erfolgten, andererseits aber auch einen Index der Anzahl der Quotenurteile bildet, die das Auftreten von Annahmefehlern verhinderten,
- und die Anzahl der Annahmefehler die direkt beobachtbare Differenz zwischen der Anzahl der virtuellen Annahmefehler, die aufgrund der verfügbaren kritischen Stichprobe zu erwarten gewesen wären, und der Anzahl der nicht beobachtbaren Quotenurteile darstellt.

Theoretische Ableitung der beobachteten Fehlerhäufigkeiten

Eine Änderung der Komplexität der Muster bedeutet eine Änderung der "Grundgesamtheit" der beiden am Wiedererkennen beteiligten Informationssätze. Nach (1) (vergl. im folgenden immer auch die Abb. 13 a und 13 b) er-

hört sich die Wahrscheinlichkeit virtueller Annahmefehler im allgemeinen nur geringfügig, wenn wie im vorliegenden Versuch die Komplexität der Muster durch eine einseitige Vermehrung der Anzahl der identischen Informationseinheiten erhöht wird, ohne daß die absolute Anzahl der widersprüchlichen Informationseinheiten geändert wird. Betrachtet man dahingehend die empirischen Ergebnisse, so zeigt sich gute Übereinstimmung. Für das ganze Muster errechnet sich eine Summe der beiden Fehlerhäufigkeiten (als Index der virtuellen Annahmefehler) von 13,4 %, die nur geringfügig über der Summe von 12,4 % beim halben Muster liegt. Betrachtet man Annahme- und Verwerfungsfehler getrennt, so zeigt sich, daß beide Variablen kovariieren. Dies entspricht den theoretischen Erwartungen, wonach die Bereitschaft zu "korrigierenden" Urteilen nach dem Quotenkriterium mit der Häufigkeit der Annahmefehler steigt. (Vergl. Tab. 1.)

Eine Variierung der Anzahl der abgeänderten Teile bei den Distraktoren führt zu einer Änderung des Anteils widersprüchlicher Information in der Grundgesamtheit. Nimmt die Anzahl der widersprüchlichen Informationseinheiten zu, so verringert sich nach(1) im allgemeinen die Wahrscheinlichkeit virtueller Annahmefehler in negativ beschleunigter Weise. Die empirischen Befunde stimmen damit überein: Für eine Abänderung ergibt sich eine Summe von durchschnittlich 22,4 %, für zwei Änderungen von 13,2 % und für vier Änderungen von 8,6 % Fehler. Auch hier findet sich eine Kovariation der beiden Fehlerarten, die im Sinne der theoretischen Überlegungen liegt. (Vergl. Tab. 2.)

Die Wirkung der dritten Variable ist komplexerer Art. Die Möglichkeit eines direkten Vergleichs beeinflusst einerseits die Größe der kritischen Informationstichprobe, sie übt andererseits aber auch darauf einen Einfluß aus, wie weit sich V_{pn} in ihren Entscheidungen mehr

auf die mnestiche oder mehr auf die Quoteninformation stützen. Fehlt die Möglichkeit eines direkten Vergleichs, so steht kritische mnestiche Information im allgemeinen nur in relativ begrenztem Maße zur Verfügung, was virtuelle Annahmefehler nach (1) unvermeidlich macht. Diese virtuellen Annahmefehler äußern sich im gegebenen Fall gemäß den bisherigen Überlegungen teils in manifesten Annahmefehlern, teils in Verwerfungsfehlern. Besteht hingegen die Möglichkeit eines direkten Vergleichs, so wird eine Vp immer dann direkt verglichen, wenn ihr Teile unbekannt erscheinen. Würde dieser Vergleich perfekt durchgeführt und sämtliche Gedächtnislücken durch den Einsatz des kurzfristigen Behaltens gefüllt werden, so dürften weder Annahmehoch Verwerfungsfehler auftreten, weil dann nicht nur eine Stichprobe, sondern die Grundgesamtheit selbst zur Identifizierung zur Verfügung stehen würde. Wird er dagegen nicht perfekt durchgeführt, so liegt wiederum nur eine Stichprobe kritischer Information vor, die virtuelle Annahmefehler bei der geringen Unterschiedlichkeit von Standardmuster und Distraktoren unvermeidlich macht. In diesem Fall aber bleibt fraglich, ob sich diese Fehler in beiden Arten manifestieren. Eine Vp wird sich - auch wenn sie relativ schlampig vorgeht - lieber noch einmal vergewissern und direkt vergleichen, bevor sie ein Quotenurteil fällt. Dies aber hat zur Folge, daß Quotenurteile unterbunden werden und die virtuellen Annahmefehler in voller Höhe als Annahmefehler manifestiert werden. Betrachtet man dahingehend die empirischen Ergebnisse, so zeigt sich, daß unter der Bedingung "mit Vorlagemuster" Fehler nicht gänzlich unterbunden wurden: Es resultiert eine Fehler-summe von 8,6 %. Dieses Ergebnis ist so zu verstehen, daß aufgrund des Zeitdrucks wahrscheinlich nicht optimal abgetastet bzw. verglichen wurde. Die Fehlersumme kommt bezeichnenderweise fast ausschließlich durch Annahmefehler zustande: Offensichtlich wurden Quotenurteile aus den

oben genannten Gründen weitgehend unterbunden. Unter der Bedingung "ohne Vorlagemuster" lassen sich in Übereinstimmung mit den theoretischen Überlegungen wesentlich mehr Fehler beobachten: zusammen 20,5 %. Erwartungsgemäß ist in diesem Fall auch der Anteil der Verwerfungsfehler an der Gesamtfehlerzahl wesentlich höher als im anderen Fall; er bleibt nur wenig hinter dem der Annahmefehler zurück. (Vergl. Tab. 3.)

Im Laufe des Versuchs wird das Standardmuster zunehmend vollständiger erlernt, so daß zunehmend mehr kritische Information zur Verfügung steht. Eine größere Stichprobe bedeutet aber nach (1) im allgemeinen zunehmend weniger Fehlentscheidungen. Die empirischen Befunde stimmen damit überein: Die beiden Fehlerarten fallen von zusammen 34,4 % (bei einer Reproduktionsleistung von 25 %) auf 8 % (bei einer Reproduktionsleistung von 80 %). Beide Fehlerarten kovariieren erwartungsgemäß. (Vergl. Tab. 4.)

Auch auf Seiten der Wechselwirkungen zeigt sich eine gute Übereinstimmung. Beziehung (1) läßt keine nennenswerte Wechselwirkung zwischen der Komplexität der Muster und der Ähnlichkeit der Distraktoren erwarten, so lange nur die Menge der übereinstimmenden Informationseinheiten verändert wird, die Menge der widersprüchlichen aber gleich bleibt. Die empirischen Daten stimmen damit gut überein: Während für das ganze Muster eine Summe von 21,4 %, 10,0 % und 7,9 % Fehler beobachtet werden, zeigen sich beim halben Muster zusammen 22,4 %, 12,7 % und 7,1 % Fehler. Die Wechselwirkung fehlt erwartungsgemäß bei beiden Fehlerarten. (Abb. 11 a und 11 b.)

Die Doppelwirkung der Komplexität und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs läßt sich dahingehend kennzeichnen, daß der erste Faktor die Zusammensetzung und den Umfang der Grundgesamtheit bestimmt, während der zweite Faktor die Größe der Stichprobe beeinflusst, die daraus entnommen wird, und gleichzeitig entscheidet, wie weit Quotenurteile stattfinden. Nach (1) ist für unterschiedlich große Grundgesamtheiten bei konstantem absolutem Gehalt an widersprüchlicher Information ein weitgehend gleichartiger Abfall der Fehlerwahrscheinlichkeiten zu erwarten, wenn die Stichprobengröße relativ zum Umfang der Grundgesamtheit erweitert wird. Nachdem der Einfluß der Quotenurteile, so solche erfolgen, wiederum indirekt von der Anzahl dieser virtuellen Fehlentscheidungen abhängt, ist für beide Fehlerarten keine nennenswerte Wechselwirkung zu erwarten. Betrachtet man dahingehend die empirischen Daten, so findet sich weitgehende Übereinstimmung. Unter der Bedingung "mit Vorlagemuster" zeigt sich eine Summe von 8,4 % (ganzes Muster) bzw. 8,5 % Fehlern (halbes Muster), unter der Bedingung "ohne Vorlagemuster" eine Summe von 17 % bzw. 15 %. Betrachtet man die beiden Fehlerarten getrennt, so zeigt sich wie erwartet bei den Annahmefehlern eine weitgehende Parallelität der Wirkungen. Bei den Verwerfungsfehlern sind stärkere Abweichungen vorhanden, die jedoch nicht das Zufallsniveau überschreiten. (Vergl. Abb. 11 b und 12 b.)

Nach den bisherigen Überlegungen führt eine Manipulation der Komplexität zu einer Änderung der Anzahl der übereinstimmenden Informationseinheiten in der Grundgesamtheit der afferenten bzw. gespeicherten Information. Die Übung ändert demgegenüber die Größe der Stichprobe, die zur Identifizierung herangezogen werden kann. Nach (1) ist für die Variation beider Variablen keine

nennenswerte Wechselwirkung auf die virtuelle Annahmefehler-Wahrscheinlichkeit zu erwarten. Betrachtet man dahingehend die Daten, so zeigt sich für die Summe der beiden Fehlerhäufigkeiten die Vorhersage einigermaßen bestätigt. Die partiellen Abweichungen können anbetrachts des Ausmaßes der zufälligen Schwankungen Zufallseinflüssen zugeschrieben werden. Erwartungsgemäß fehlt eine überzufällige Wechselwirkung bei beiden Fehlerarten. (Vergl. Abb. 11 c und 12 c.)

Zur Frage der Wechselwirkung der Distraktorähnlichkeit und der Möglichkeit eines direkten Vergleichs ist davon auszugehen, daß der erstere Faktor den Anteil der widersprüchlichen Informationseinheiten auf Kosten der übereinstimmenden in der Grundgesamtheit ändert, während der zweite einerseits die Größe der kritischen Stichprobe erhöht, andererseits aber auch Quotenurteile unterbindet. Fehlt die Möglichkeit eines direkten Vergleichs, so wären nach (1) durchschnittlich um so mehr virtuelle Annahmefehler zu erwarten, je geringer der Anteil der widersprüchlichen Information in der Grundgesamtheit ist. Je wahrscheinlicher aber solche Fehler sind, umso mehr Quotenurteile werden auch erfolgen und die Unterschiede der manifesten Annahmefehler-Häufigkeiten wieder bis zu einem gewissen Grad nivellieren. Besteht demgegenüber die Möglichkeit eines direkten Vergleichs, so sind nach (1) vergleichsweise geringere Unterschiede der virtuellen Fehlerhäufigkeiten zu erwarten, da im allgemeinen wesentlich größere Stichproben an kritischer Information zur Verfügung stehen, die Fehlerkurven aber für zunehmend größere Stichproben zunehmend abflachen und damit ihre Unterschiede zunehmend verkleinern. Diese geringeren Unterschiede werden aber nicht weiter nivelliert, da Quotenurteile entfallen. Aufgrund dieser Überlegung ist zu erwarten, daß die Summe der Annahme- und Verwerfungsfehler

unter der Bedingung "ohne Vorlage" größere Unterschiede für die unterschiedlichen Distraktorähnlichkeiten aufweist, als unter der Bedingung "mit Vorlagemuster". Weiter ist zu erwarten, daß nur unter dieser Bedingung Verwerfungsfehler als Index der Quotenurteile auftreten und zwar umso zahlreicher auftreten, je größer die Distraktorähnlichkeit ist, während unter der Bedingung "mit Vorlage" für alle Grade der Ähnlichkeit Verwerfungsfehler in gleicher Weise unterbleiben. Für die manifesten Annahmefehlerhäufigkeiten schließlich lassen sich keine Voraussetzungen machen, da sich schwer abschätzen läßt, ob sich die Verminderung der Unterschiede aufgrund allgemein größerer Stichproben stärker auswirkt als die Nivellierung der Unterschiede durch Quotenurteile oder umgekehrt. Betrachtet man dahingehend die empirischen Befunde, so zeigt sich gute Übereinstimmung. Die Unterschiede der Summe der beiden Fehlerarten sind unter der Bedingung "ohne Vorlage" größer als unter der Bedingung "mit Vorlage": 30,8 %, 23,1 % und 13,5 % stehen 16,1 %, 4,0 % und 5,9 % für jeweils 1, 2 und 4 Abänderungen gegenüber. Verwerfungsfehler treten praktisch nur unter der Bedingung "ohne Vorlage" auf und zeigen die geforderten Unterschiede (Abb. 11 d). Die Annahmefehler schließlich lassen ein weitgehendes Ausgewogensein der beiden widerstreitenden Einflüsse erkennen (Abb. 12 d).

Nach (1) ist für die gleichzeitige Variation des Übungsgrades und der Ähnlichkeit eine Wechselwirkung zu erwarten. Enthält die Grundgesamtheit nur einen vergleichsweise geringen Anteil an widersprüchlicher Information, so ist eine auf hohem Niveau beginnende und im Laufe der Übung - bedingt durch das Anwachsen der kritischen Stichprobe - lang abfallende Kurve für die Summe der beiden Fehlerarten zu erwarten, die erst spät das Null-

niveau erreicht. Ist dagegen mehr widersprüchliche Information vorhanden, so setzt die Fehlerkurve an einem niedrigeren Niveau an und erreicht schneller den Nullpunkt. Betrachtet man dahingehend die empirisch ermittelten Fehlerhäufigkeiten und denkt sich zunächst Annahme- und Verwerfungsfehler addiert, so zeigen sich innerhalb des verfügbaren Meßbereichs gut die zu erwartenden Charakteristiken. Insbesondere fällt auf, daß bei einem abgeänderten Teil die Fehlerkurve auch bei einer Reproduktionsleistung von 90 % noch im Fallen begriffen ist, während bei zwei und insbesondere vier Abänderungen schon wesentlich früher ein Basisniveau erreicht wird, das freilich nicht auf der Nulllinie liegt. Der Grund hierfür dürfte darin liegen, daß während des ganzen Versuchs unter Zeitdruck gearbeitet und entsprechend nur unvollkommen abgetastet wurde, so daß Informationsverluste unvermeidlich sind. Betrachtet man die beiden Fehlerarten getrennt, so zeigt sich abermals eine gewisse Parallelität der Wechselwirkungen der beiden Fehlerarten. Dies entspricht den theoretischen Überlegungen, wonach Quotenurteile umso häufiger auftreten, je wahrscheinlicher virtuelle Annahmefehler sind. (Vergl. Abb. 11 e und 12 e).

Für die beiden Bedingungen "Grad der Übung" und "Möglichkeit eines direkten Vergleichs" ist Wechselwirkung zu erwarten. Fehlt ein Vorlagemuster, so ist ein Abfall der virtuellen Annahmefehler mit zunehmender Übung und damit eine Vergrößerung der kritischen Stichprobe zu erwarten. Da Quotenurteile nicht unterbunden werden, wird sich ein solcher Abfall in einer Reduzierung beider Fehlerarten äußern. Betrachtet man dahingehend die empirischen Befunde, so ist dies tatsächlich der Fall. Liegt dagegen ein Vorlagemuster vor, so vergleicht nach den

bisherigen Überlegungen eine Vp immer dann direkt, wenn ihre mnestiche Information Lücken aufweist. Da diese Lücken zu Beginn des Versuchs relativ groß sind, dann aber zunehmend kleiner werden, wird die Vp zu Beginn sehr häufig, dann aber immer weniger verglichen. Würde sie perfekt vergleichen, so dürften über den ganzen Lernbereich weder Annahme- noch Verwerfungsfehler auftreten, da ständig komplette Informationssätze zur Verfügung stehen würden. Wird dagegen unvollständig verglichen, so ist ein gewisser, vergleichsweise mäßiger Fehlerabfall zu erwarten, da ja die Informationslücken, die das direkte Vergleichen beläßt, zunehmend durch längerfristig gelernte Information gefüllt werden. Der Abfall wird sich in diesem Fall aber weitgehend auf die Annahmefehler beschränken, da Quotenurteile über den ganzen Lernbereich unterbunden werden. Betrachtet man dahingehend die empirischen Daten, so zeigt sich ein mäßiger Abfall der Annahmefehler, wie er für mangelhaftes Vergleichen zu erwarten ist. Die Verwerfungsfehler weisen gleichzeitig die geforderte Seltenheit über den ganzen Übungsbereich auf. (Vergl. Abb. 11 f und 12 f.)

DISKUSSION III: REPRODUKTIONSERGEBNISSE

Die zeichnerische Reproduktion wurde nicht um ihrer selbst willen als abhängige Variable eingeführt, sondern sollte eine gesonderte Einschätzung und Standardisierung der jeweils verfügbaren mnestischen Information erlauben. Man kann nun noch einen Schritt weitergehen und den Einfluß näher untersuchen, den die vier unabhängigen Variablen auf die Reproduktionsleistung ausüben.

Die im vorliegenden Versuch verwendeten unabhängigen Variablen entsprechen zum einen Teil weitgehend klassischen Lernvariablen: so die Anzahl der Durchgänge und die Komplexität des Lernmusters. Hinsichtlich der ersteren Variablen ist jedoch zu beachten, daß sich im vorliegenden Experiment die Prüfzeit pro Durchgang im Laufe der Durchgangsböcke zunehmend verkürzt, während in üblichen Experimenten die Darbietungszeit in aufeinanderfolgenden Durchgängen konstant gehalten wird. Es erscheint deshalb sinnvoll, zur Analyse nicht die Anzahl der Durchgangsböcke, sondern die kumulierte Identifizierungszeit heranzuziehen. Die Komplexität des Standardmusters läßt sich sinnvollerweise mit der Länge von Itemreihen in üblichen "rote learning"-Experimenten in Beziehung setzen. Zu berücksichtigen ist jedoch, daß diese Variable im vorliegenden Versuch auch die durchschnittliche Prüfzeit und damit Darbietungszeit eines Musters beeinflusste. Die beiden anderen unabhängigen Variablen stellen recht ungewöhnliche Variable für ein Lernexperiment dar. Der Einfluß einer dieser Variablen, der Ziel-Muster-Distraktor-Ähnlichkeit, läßt sich jedoch auf eine weitere klassische Variable zurückführen: Die Zahl der Abänderungen beeinflusst die durchschnittliche Zeit, die zur Prüfung der Testmuster aufge-

wendet wird und damit die Lernzeit pro Durchgang. Die zweite unübliche Variable, die Möglichkeit eines direkten Vergleichs, wirkt sich gleichfalls, wenn auch nur geringfügig, auf die Prüfzeit pro Muster und damit auf die "Darbietungs"-Geschwindigkeit aus. Daneben dürfte jedoch von Bedeutung sein, daß die Bedingung "mit Vorlagemuster" vergleichsweise eindeutige Information über die Identität eines jeweils vorliegenden Musters vorsieht und damit verhindert, daß der eine oder andere Abschnitt eines Musters fälschlicherweise als identisch oder nichtidentisch angesehen wird und als solcher unter der falschen "Rubrik" gelernt wird. Jedenfalls fällt auf, daß unter der Bedingung "mit Vorlage" schneller gelernt wurde. (Vergl. Abb 17.)

Das Erlernen visueller Formen fand nur spärliches Interesse der Forschung. Eine Reihe älterer Arbeiten (Überblick: Woodworth, 1938) befaßt sich dabei mit qualitativen Aspekten der Speicherung und Reproduktion. So stellten Judd & Cowling (1907) beispielsweise fest, daß der Innenbereich komplexer Figuren erst relativ spät erlernt wird, daß verschiedene Vpn die verschiedenen Teile einer Figur in unterschiedlicher Reihenfolge erlernen usw. Gibson (1929) fand, daß Reproduktionen von Figuren in Richtung auf vertraute Objekte, auf andere assoziierte Figuren usw. abgeändert werden. Andere Arbeiten (Foster, 1911; Dallenbach, 1914) befassen sich mit dem Transfer-Effekt der Übung auf die Fähigkeit, Muster zu reproduzieren. Quantitative Studien über das Erlernen und nachfolgende Reproduzieren visueller Muster liegen lediglich von Pieron (1919) und Fehrer (1935) vor. Angesichts dieser Sachlage scheint ein Vergleich mit den traditionellen Versuchen über das mechanische Erlernen sinnloser Silben, Ziffern und dergleichen sinnvoll.

Ein solcher Vergleich mag darüber Aufschluß geben, wie weit für visuelles und akustisch-semantisches Lernen gleiche Lerngesetze gelten. Interesse verdient dabei, daß neuere Versuche (Gehring et alii, 1976) über einen Zeitraum von 10 Min. bis zu 3 Mon. zwar höhere Wiedererkennungseleistungen für visuelles Material, aber recht ähnliche Vergessenskurven erbrachten.

Die Lernkurve

Das sukzessive Erlernen von sprachlichen Lernstoffen in Abhängigkeit von der Lernzeit bzw. der Anzahl der Durchgänge wurde von Ebbinghaus (1885, 1911) und Mibai (1922) nach der Ersparnismethode, von Smith (1896), Hawkins (1897), Pohlmann (1906), Knors (1910), Nagel (1912), Jesinghaus (1912), Kjersted (1919), Cofer (1941) und Waugh (1962) nach der Methode der behaltenen Glieder, von Robinson & Heron (1922), Hovland & Kurtz (1952) nach der Antizipationsmethode, von Reuther (1906) nach der Methode der identischen Reihen, von Ephrussi (1904) und Witasek (1907) nach der Methode der Hilfen und von Müller & Pilzecker (1907), Lipmann (1904), Knors (1910), Kjersted (1919) nach dem Trefferverfahren untersucht. Über die verschiedenen Verfahren gibt Süllwold (1964) Aufschluß.

Ebbinghaus und Mibai fanden mit der Ersparnismethode einen praktisch geradlinigen Anstieg der Lernkurve. Bei der Methode der behaltenen Glieder ergab sich dagegen in der Mehrzahl der Fälle ein negativ beschleunigter Verlauf. Schon Nagel konnte durch gesonderte Auszählung des 1. und 4. Viertels seiner Reihen nachweisen, daß die Anfangs- und Endglieder einer Reihe rasch

wiedergegeben werden können, während die Mittelglieder einen ziemlich gleichförmigen Zuwachs zeigen; die Lernkurve als Summenkurve für die ganze Reihe ergibt dabei einen gekrümmten Verlauf. Waugh prüfte in ihrer Arbeit nicht nur die Hypothese, daß eine Vp jeweils durchschnittlich die gleiche Anzahl neuer Items pro Durchgang dazu lernt, so oft sie eine Liste repetiert, sie konnte auch nachweisen, daß die Wahrscheinlichkeiten, 0, 1, 2, ... k Items dazuzulernen, von Durchgang zu Durchgang konstant blieben und sich in aufeinanderfolgenden Durchgängen unabhängig voneinander kombinierten. Die negativ beschleunigten Verläufe anderer Autoren erklärt sie als statistisches Artefakt, das durch den auch in der vorliegenden Arbeit zu beobachtenden "ceiling"-Effekt zustandekommt. Diese Kritik an den in der Mehrzahl abweichenden Ergebnissen anderer Autoren ist jedoch unberechtigt: Insbesondere die älteren deutschen Arbeiten liefern eine Fülle individueller und damit artefaktfreier Lernkurven, die trotzdem einen negativ beschleunigten Verlauf zeigen, während die zitierten neueren Arbeiten mit einer Ausnahme (Robinson & Heron) den Effekt meiden. Bei der Antizipationsmethode und der Methode der identischen Reihen ergaben sich gleichfalls negativ beschleunigte Verläufe, für die man mit der einen genannten Ausnahme keine Ceiling-Effekte verantwortlich machen kann. Die mit der Methode der Hilfen und der Treffermethode gewonnenen Lernkurven zeigen teils negativ beschleunigte, teils eher geradlinige, artefaktfreie Verläufe.

Im eigenen Versuch zeigen sich auf der Basis der kumulierten Identifizierungszeit⁺ Lernkurven,

⁺ Sie entspricht der totalen Zeit, während der identische und nichtidentische Muster sichtbar waren, schließt also die im Rahmen der Instruktion und der Nachkontrolle ermöglichte Blick- bzw. Lernzeit mit ein. Die Prüfzeit für die nichtidentischen Muster wurde der Gesamtzeit zugerechnet, da die Vpn jeweils solange identische Teile prüften, bis sie auf ein abweichendes Teil stießen.

die nur leicht negativ beschleunigt sind (Abb. 14). Diese Kurven enthalten jedoch noch Ceiling-Effekte. Diese Begrenzungseffekte fallen insbesondere bei den Gruppen mit halbem Muster ins Gewicht, da hier 24 (=67 %) gegenüber 13 Vpn (=36 %) beim ganzen Muster vollständige Reproduktion vor dem 18. Durchgang erreichen. Man kann das Artefakt vermeiden, in dem man anstelle des arithmetischen Mittels der Zeichenpunkte den Median in den einzelnen Untergruppen zu sechs Vpn verwendet. Es zeigt sich hierbei ein nahezu geradliniger Anstieg, der sich gut in das Bild der sprachlichen Ergebnisse einordnet (Abb. 15). Die am entschiedensten von Waugh vertretene Hypothese einer konstanten Einspeicherungsrate erhält damit eine weitere empirische Stütze, zumal sich eine ganze Reihe von Gründen für das Abweichen von einer "an sich" geradlinigen Kurve angeben läßt (hierzu: Faßnacht, 1974).

Darbietungsgeschwindigkeit

Der Einfluß der Darbietungsdauer der einzelnen Items einer Reihe auf das Lernen wurde von Steffens (1900), Ephrussi (1904), Ogden (1904), Jacobs (1907), Ebbinghaus (1911) und Kjersted (1919) nach dem Erlernungsverfahren, von Reuther (1906) nach der Methode der identischen Reihen und von Smith (1896), Schöneberger (1911), Ephrussi (1904) und Jacobs (1907) nach dem Trefferverfahren untersucht.

Bei der Erlernungsmethode zeigte sich durchwegs, daß höheren Darbietungsgeschwindigkeiten unterproportional häufigere Wiederholungen und damit kürzere Gesamtlernzeiten entsprechen. Die Daten, die mittels der Methode der identischen Reihen und der Methode der

Abb. 14. Durchschnittliche Anzahl reproduzierter Abschnitte in den Gruppen mit ganzem und halbem Muster in Abhängigkeit von der kumulierten Identifizierungszeit

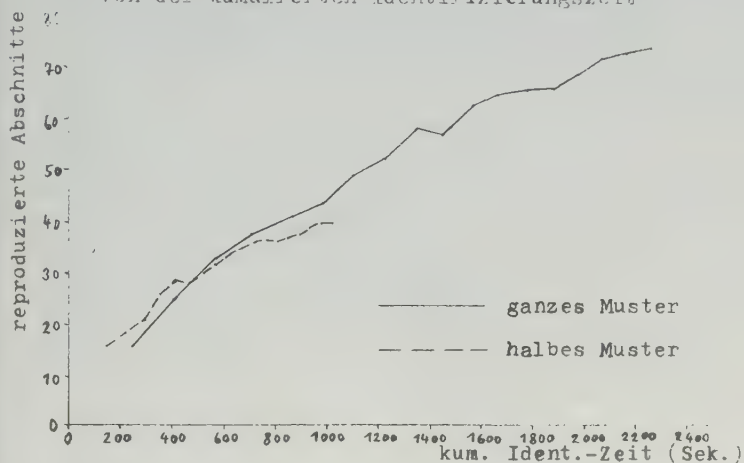
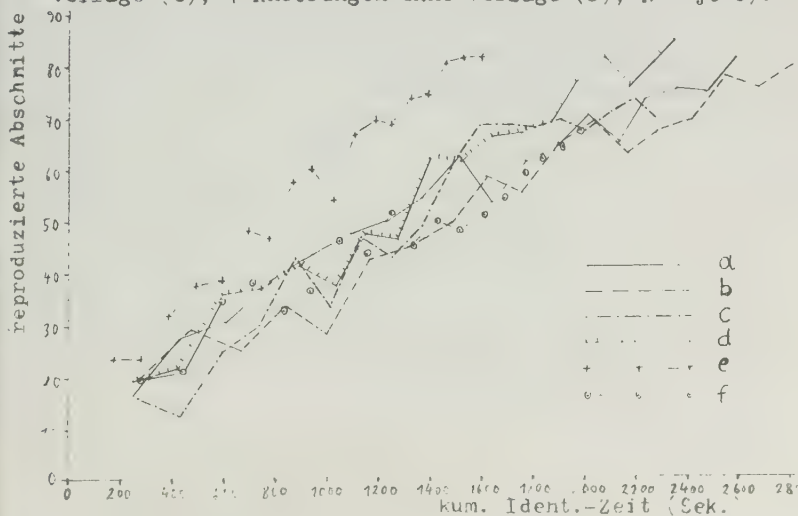


Abb. 15. Mediane der Anzahl reproduzierter Abschnitte des ganzen Musters in Abhängigkeit von der kumulierten Identifizierungszeit in den Untergruppen des Versuchs (1 Änderung mit Vorlage (a), 1 Änderung ohne Vorlage (b), 2 Änderungen mit Vorlage (c), 2 Änderungen ohne Vorlage (d), 4 Änderungen mit Vorlage (e), 4 Änderungen ohne Vorlage (f); N = je 6).



behaltenen Glieder gewonnen wurden, ergeben ebenfalls etwas steilere Lerngradienten für kürzere Darbietungen. Bei der Treffermethode zeigte sich jedoch, daß die langsamer gelernten Reihen gemessen an der Gesamtlernzeit besser behalten wurden.

Im Bereich des visuellen Lernens ist die Untersuchung Fehrs (1935) zu nennen. Da jedoch hier die Darbietungszeiten nur im tachistoskopischen Bereich variiert wurden, sind hier Sonderbedingungen anzunehmen. Die eigenen Ergebnisse - keine nennenswerten Unterschiede der Lerngradienten bei gleicher Gesamtlernzeit und unterschiedlicher Darbietungsdauer pro Durchgang (Abb. 16) ordnen sich gut in die sprachlichen Befunde ein.

Die Menge des Lernstoffs

Die Menge sprachlicher Lernstoffe als Lernvariable wurde von der Mehrzahl der Autoren mit Hilfe der Erlernungsmethode untersucht und zwar von Ebbinghaus (1885), Binet (1894), Binet & Henri (1895), Pentschew (1903), Radossawljewitch (1906), Meumann (1908), Weber (1909), Knors (1910), Müller (1911), Jesinghaus (1912), Lyon (1914), Henmon (1917), Kjersted (1919), Scott & Henninger (1933), Cofer (1941) und Waugh (1962). In diesen Untersuchungen ergab sich, daß die Anzahl der Versuchsdurchgänge und die Lernzeit mit der Reihenzahl anstieg, wobei die Anzahl der Versuchsdurchgänge einen teils negativ beschleunigten, teils eher geradlinigen, mitunter aber auch positiv beschleunigten Verlauf zeigte, während die Lernzeit einen

Abb. 16. Durchschnittliche Anzahl reproduzierter Abschnitte in den Gruppen mit einer, zwei und vier abgeänderten Teilzeichen bei den Distraktoren in Abhängigkeit von der kumulierten Identifizierungszeit

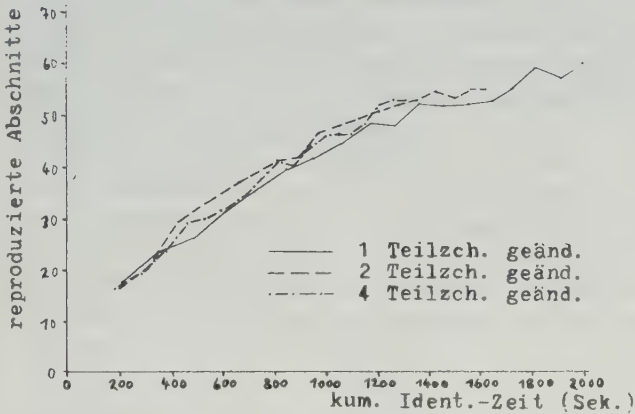
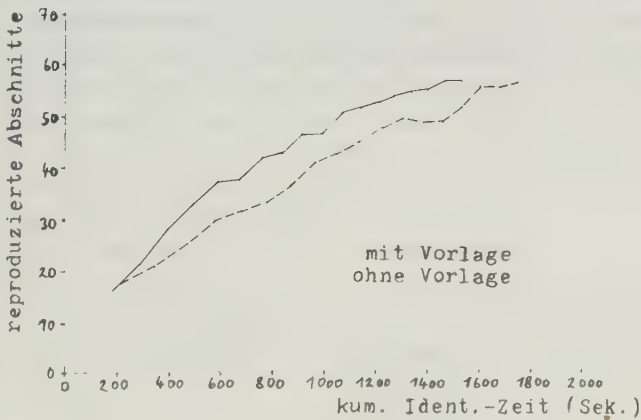


Abb. 17. Durchschnittliche Anzahl reproduzierter Abschnitte in den Gruppen mit Vorlagemuster und ohne Vorlagemuster in Abhängigkeit von der kumulierten Identifizierungszeit



fast durchwegs positiv beschleunigten Verlauf aufwies. (Bei zunehmender Reihenlänge erfordert ein einzelner Durchgang zunehmend mehr Zeit.) Bei der Wertung dieser mit der Erlernungsmethode gewonnenen Befunde ist jedoch zu beachten, daß ein umfangreicherer Lernstoff einen höheren Lerngrad erreichen muß, um vollständig reproduziert werden zu können. Daß dies der Fall ist, wurde verschiedentlich (Ebbinghaus, Henmon, Pentschew, Jesinghaus) nachgewiesen: Die Ersparnis ist bei längeren Reihen wesentlich größer. Nach der Treffermethode, die ebenfalls von Kjersted verwendet wurde, ergab sich ein geringerer Anstieg der Wiederholungszahlen, da bei dieser Methode der Lernstoff nicht zusammenhängend reproduziert werden muß. Ähnlich zeigte sich auch bei der Antizipationsmethode - sie wurde von Robinson & Heron (1922), Hovland (1940) und Hovland & Kurtz (1952) benützt - ein weitgehend linearer Anstieg der Lerndurchgänge bzw. ein positiv beschleunigter Anstieg der Lernzeit mit der Reihenlänge. In einer Reihe von älteren Arbeiten wurde der Lernstoff nicht jeweils vollständig erlernt, sondern es wurde bei einer konstanten Anzahl von Durchgängen die Lernstoffmenge variiert. Dies geschah bei Müller & Pilzecker (1900) und Lipmann (1904) nach der Treffermethode, bei Reuther (1906) nach der Methode der identischen Reihen und bei Jesinghaus (1912) nach der Methode der behaltenen Glieder. Übereinstimmend fand sich, daß bei längeren Reihen absolut gesehen mehr, relativ gesehen jedoch weniger reproduziert wurde.

Fehrer (1935) untersuchte u.a. die Beziehung zwischen der Komplexität visueller Muster, die nur grob quantifiziert wurde, und der Anzahl der zur vollständigen Reproduzierbarkeit nötigen Durchgänge. Sie fand einen eher unterproportionalen Anstieg der Lernschwierigkeit mit der Komplexität.

Die empirisch gefundenen Beziehungen zwischen Lernstoffmenge und Lernschwierigkeit haben zu einer Reihe von Versuchen Anlaß gegeben, die gefundenen Zusammenhänge in ein mathematisches Gesetz zu fassen, so von Piéron (1900), Foucault (zitiert nach Fröbes, 1917), Thurstone (1930) und Waugh (1962). Die wohl bekannteste Beziehung ist die von Thurstone:

$$R = \frac{c}{k} \sqrt{n - a} \quad \text{bzw.} \quad T = \frac{c}{k} n \sqrt{n - a}, \quad \text{wobei}$$

R = Anzahl der Wiederholungen, T = totale Lernzeit, c , k = individuelle bzw. lernstoffspezifische Konstanten, n = Anzahl der Items, a = Aufmerksamkeitsspanne.

Die eigenen Befunde ordnen sich gut in diese Beziehung ein: Vernachlässigt man den Koeffizienten a , was für umfangreiche Lernstoffe zulässig ist, dann ergibt sich nach dieser Formel für eine Verdoppelung der Reihenlänge ein Anstieg der Lernzeit um den Faktor 2,83. Nach dem Anstieg der hier gefundenen Reproduktionsgradienten für das halbe Muster (durchschnittlich 0,073 reproduzierte Abschnitte pro Sekunde Lernzeit, artefaktbereinigt) und für das ganze Muster (0,045 Abschnitte) würde die Lernzeit um den ähnlichen Faktor 3,25 steigen. Daß der hier gefundene Faktor etwas größer ist, wundert dabei nicht: Die Thurstone'sche Beziehung wurde an Daten entwickelt, die mit der Treffermethode erhoben wurden, während die eigenen Befunde nach dem Kriterium der vollständigen Reproduzierbarkeit gewonnen wurden (Erlernungsmethode).

Faßt man die Ergebnisse des Vergleichs der Lernbeziehungen, die für das Erlernen eines visuellen Musters gelten, mit denen, die für das Erlernen von Reihen mehr oder weniger schon vorbekannter Items sprachlicher Art gelten, zusammen, so zeigt sich trotz der Unterschiedlichkeit des Lernmaterials eine bemerkenswerte Übereinstimmung.

Theorie

Im Falle des hier verwendeten Standard-musters wurde eine räumliche Anordnung von verschiedenen horizontalen und vertikalen Strichen gelernt. Beim sprachlichen Lernen wird demgegenüber eine zeitliche Anordnung von Items gelernt. In beiden Fällen sind die Einheiten - hier Striche unterschiedlicher Länge, dort sinnlose Silben und dergleichen - nicht aber ihre Anordnung bei Lernbeginn bereits aus anderem Zusammenhang bekannt. Gelernt wird also die Art und die räumliche bzw. zeitliche Anordnung von bereits bekannten Einheiten. Die Schaffung neuronaler Interaktionsverbände vermag sehr wohl die in beiden Fällen zu beobachtende Speicherung struktureller Information zu erklären. Die Art der bereits bekannten Einheiten läßt sich in der Art der bereits bestehenden Interaktionsverbänden, die Art der räumlichen bzw. zeitlichen Anordnung in der Art der räumlichen Anordnung der betreffenden konstituierenden Zellverbände kodiert denken.

Was die quantitativen Aspekte der Einspeicherung betrifft, so lassen die Reproduktionsergebnisse vor allen Dingen die Wirksamkeit zweier Lernfaktoren erkennen: die kumulierte Prüfzeit, die offenbar die Bedeutung besitzt, die sonst die kumulierte Darbietungszeit in herkömmlichen Untersuchungen einnimmt, und die Komplexität des Musters, die die Menge der zu lernenden Information analog der Reihenlänge in üblichen sprachlichen Experimenten bestimmt. Die Art, wie die Gesamtlernzeit in einzelne Stücke aufgeteilt wird, scheint dagegen weitgehend belanglos zu sein. Man kann diesen Fakten durch zwei ergänzende Annahmen Rechnung tragen: Es ist anzunehmen, daß die neuronalen Interaktionswege zwischen den konstituierenden Zellen oder Zellverbänden nacheinander, nicht gleichzeitig geschaffen werden; dabei muß die Erregung der beiden zu verknüpfenden Erregungszentren eine

gewisse konstante Mindestzeit andauern, damit eine Verbindung geschaffen wird. Weiter ist anzunehmen, daß die Bahnung einzelner Interaktionswege über die Dauer der aktuellen Erregung hinaus anhält und daß sich dadurch mögliche gleichzeitig erfolgende Bahnungsprozesse behindern. Die zweite Annahme mag dabei den Befund erklären, daß längere Lernstoffe überproportional schwieriger zu erlernen sind.

A n h a n g

Die Ergebnisse für die einzelnen Untergruppen des Versuchs. Jeder Meßwert basiert auf je 6 Einzelmessungen, die teils an 6 verschiedenen Personen (Variable "Komplexität", "Ähnlichkeit", "Vorlage"), teils an jeweils derselben Person ("Durchgangsböcke") vorgenommen wurden.

Durchschnittliche Prüfzeit für ein identisches Muster in Sekunden

Durchgangsblock

Halbes Muster		Ganzes Muster		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	2. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	1. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	4. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	2. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	1. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	4. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	2. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	1. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	4. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	2. And. ohne Vorl.	mit Vorl.
4,73	3,55	3,54	4,00	5,37	6,32	10,51	6,86	8,14	12,91	7,88	8,71	8,49	6,67	7,39	8,44	7,80	7,94	8,22	8,71	8,22	8,71
4,16	2,89	2,69	3,27	4,38	4,63	8,49	6,67	7,39	10,46	7,94	8,22	8,49	6,67	7,39	8,44	7,80	7,94	8,22	8,71	8,22	8,71
3,89	2,54	2,82	3,45	4,91	3,79	9,88	6,46	7,83	9,83	7,80	7,98	9,88	6,46	7,83	8,44	7,45	7,80	7,98	7,98	7,98	7,98
3,22	2,57	3,04	3,38	4,43	3,90	7,56	6,50	8,44	11,68	7,45	7,74	7,56	6,50	8,44	7,45	7,45	7,45	7,74	7,74	7,74	7,74
2,93	2,67	3,67	2,70	4,09	3,92	6,23	6,32	6,57	7,67	6,84	8,00	6,23	6,32	6,57	7,67	6,84	6,84	8,00	8,00	8,00	8,00
2,84	2,20	3,32	2,66	4,01	3,24	5,54	5,68	6,62	8,98	7,00	6,51	5,54	5,68	6,62	8,98	7,00	7,00	6,51	6,51	6,51	6,51
2,70	2,41	3,31	2,59	4,40	4,29	6,63	5,81	7,69	8,13	7,14	6,52	6,63	5,81	7,69	8,13	7,14	7,14	6,52	6,52	6,52	6,52
2,90	2,22	3,29	2,27	4,69	3,75	5,58	5,43	7,73	7,45	6,70	6,57	5,58	5,43	7,73	7,45	6,70	6,70	6,57	6,57	6,57	6,57
2,36	2,21	2,95	2,32	3,72	3,90	5,83	5,98	7,68	6,68	7,58	6,55	5,83	5,98	7,68	6,68	7,58	7,58	6,55	6,55	6,55	6,55
2,42	1,91	2,47	2,06	3,98	2,88	5,68	5,69	6,56	6,96	8,24	5,90	5,68	5,69	6,56	6,96	8,24	8,24	5,90	5,90	5,90	5,90
2,26	1,49	2,75	1,81	4,11	3,64	5,21	5,30	6,53	6,84	7,95	5,81	5,21	5,30	6,53	6,84	7,95	7,95	5,81	5,81	5,81	5,81
2,10	1,39	3,02	2,37	3,87	3,04	5,45	3,24	6,98	7,45	7,03	5,73	5,45	3,24	6,98	7,45	7,03	7,03	5,73	5,73	5,73	5,73
2,01	1,84	2,69	2,51	3,68	3,12	5,29	4,44	5,70	6,72	8,30	5,93	5,29	4,44	5,70	6,72	8,30	8,30	5,93	5,93	5,93	5,93
2,23	1,73	2,82	2,14	3,51	2,97	5,87	4,08	5,82	5,86	7,28	5,33	5,87	4,08	5,82	5,86	7,28	7,28	5,33	5,33	5,33	5,33
2,17	1,15	2,50	2,08	3,40	3,34	3,82	3,99	6,71	5,52	8,41	5,05	3,82	3,99	6,71	5,52	8,41	8,41	5,05	5,05	5,05	5,05
2,49	1,48	2,38	2,53	3,10	2,77	4,86	4,65	5,49	5,75	7,85	5,69	4,86	4,65	5,49	5,75	7,85	7,85	5,69	5,69	5,69	5,69
2,30	1,15	2,71	1,66	3,49	2,70	4,34	4,24	4,80	4,27	9,19	5,26	4,34	4,24	4,80	4,27	9,19	9,19	5,26	5,26	5,26	5,26
2,43	1,45	2,21	1,88	3,52	2,75	4,48	3,44	4,78	5,31	7,48	5,20	4,48	3,44	4,78	5,31	7,48	7,48	5,20	5,20	5,20	5,20

Gesamtzahl der Verwerfungsfehler

Durchgangsblok

Halbes Muster									Ganzes Muster								
4. Änd. ohne Vorl.	mit Vorl.	2. Änd. ohne Vorl.	mit Vorl.	1. Änd. ohne Vorl.	mit Vorl.	4. Änd. ohne Vorl.	mit Vorl.	2. Änd. ohne Vorl.	mit Vorl.	1. Änd. ohne Vorl.	mit Vorl.	ohne Vorl.	2. Änd. ohne Vorl.	mit Vorl.	ohne Vorl.	1. Änd. ohne Vorl.	mit Vorl.
7	2	12	0	13	2	16	0	23	0	20	0	16	15	0	7	2	1
5	2	12	1	9	2	5	0	15	0	16	0	14	11	0	1	0	2
5	3	0	0	6	0	8	1	11	0	7	0	7	11	0	0	0	3
2	1	0	1	6	1	4	0	7	0	8	0	7	7	0	0	0	0
3	0	3	0	2	0	5	0	6	0	9	0	8	6	0	1	0	0
3	1	3	0	1	0	1	0	6	0	3	0	3	6	0	0	0	0
0	0	2	0	1	0	6	0	4	0	6	0	6	4	2	0	0	0
1	0	4	0	3	0	1	0	1	0	7	0	7	1	0	0	0	0
2	1	0	2	2	0	1	0	4	0	3	1	3	4	1	0	2	0
1	0	1	0	0	0	1	0	2	0	4	1	4	2	0	0	0	0
3	1	1	0	3	0	0	0	2	0	4	1	1	1	0	0	2	0
0	2	0	0	0	1	4	0	1	0	2	0	2	1	0	0	0	0
2	1	1	0	1	0	1	0	4	0	0	0	1	4	0	0	1	2
1	1	4	0	0	0	2	0	3	0	2	0	2	1	1	3	1	1
0	1	0	1	0	1	2	0	3	0	2	0	2	3	1	3	1	1
3	3	1	0	2	0	2	0	4	0	2	2	2	0	0	0	0	2
0	0	2	0	2	0	4	0	1	0	4	0	2	3	0	1	0	2

Gesamtzahl der Annahmefehler

Durchgangsblock

Halbes Muster									Ganzes Muster								
4. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	1. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	2. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	1. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	4. And. ohne Vorl.	1. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	2. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	4. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	1. And. ohne Vorl.	mit Vorl.	1. And. ohne Vorl.
13	6	6	3	5	4	5	7	5	10	11	12	13	14	15	16	17	18
3	1	1	0	1	1	0	5	2	4	1	2	2	2	1	3	1	1
14	7	11	10	8	11	3	3	4	2	5	2	1	4	4	2	2	2
4	1	3	5	2	4	1	2	3	1	3	2	0	5	3	2	2	1
17	10	7	8	8	8	5	3	8	4	5	5	1	2	2	2	2	6
13	11	6	10	7	8	1	1	6	5	6	2	2	7	5	4	6	6
11	6	3	1	1	2	8	2	0	4	2	6	2	3	2	1	5	0
6	8	9	3	3	2	2	0	2	8	1	2	6	3	2	6	3	1
14	13	5	2	6	5	2	3	7	10	5	4	1	6	4	4	2	5
4	0	1	2	2	0	3	4	1	2	3	4	1	4	0	2	0	2
19	15	14	7	16	9	11	13	9	9	11	11	9	8	7	6	8	5
12	10	10	9	10	7	7	14	9	6	10	11	10	9	8	8	6	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

18
477
476
401
455
430
406
232
264
261
219
239
200

2. Teil

ZUR THEORIE DES WIEDERERKENNENDEN WAHRNEHMENS VISUELLER
MUSTER

ZUM BEGRIFF DES WIEDERERKENNENS

Die Bedeutung des Begriffs "Wiedererkennen" und seine Abrenzung gegenüber verwandten Begriffen wie z.B. "Identifizieren", "Diskriminieren", "Wahrnehmen" usw. ist strittig. Im alltäglichen Sprachgebrauch wird mit "Wiedererkennen" ein introspektiv erfahrbarer Prozeß bezeichnet, der es einem Individuum ermöglicht, ein Urteil darüber abzugeben, ob er ein bestimmtes Reizobjekt früher schon wahrgenommen hat oder nicht. Die Mehrzahl der Autoren folgt dem alltäglichen Sprachgebrauch, insofern sie als entscheidende Vorbedingung des Wiedererkennens die Ausbildung einer Gedächtnisspur ansehen. So verwenden beispielsweise Levy & Hershka (1973) oder Laughery et alii (1974) diesen Terminus für Aufgaben, bei denen "alte" Stimuli von "neuen" zu unterscheiden sind. Demgegenüber lassen die sogenannten "theories of shape recognition", wie sie in verschiedenen Versionen etwa von Deutsch (1955; 1960; 1962), Dodwell (1957; 1964), Sutherland (1957; 1963) und Uttley (1954) angeboten werden, diese Vorbedingung vermissen. Diese Theorien befassen sich nicht mit dem Problem, wie Formen gelernt und die gespeicherte Information für das Wiedererkennen nutzbar gemacht wird, sondern mit dem Problem der Stimulus-Äquivalenz: Wie kommt es, daß Formen trotz unterschiedlicher Größe, unterschiedlicher lokaler Abbildung auf der Netzhaut, unterschiedlicher räumlicher Orientierung usw. als gleichwertig behandelt werden? Weiter wird auch im Bereich des mechanischen oder komputerisierten Formen-Lesens der Begriff des "pattern recognition" in einem abweichenden Sinn gebraucht: Die wenigsten Komputerprogramme sehen Lernen vor.

So unscharf wie der Begriff des Wiedererkennens verwendet wird, ist auch seine Abgrenzung gegenüber anderen Begriffen. Hake (1957) unterscheidet Entdeckung (detection), Unterscheidung (discrimination), Identifizieren (identification) und Beurteilung (judgement). Bei einer Entdeckungsaufgabe schätzt eine Person, ob ein Stimulus vorhanden ist

oder nicht. Bei einer Unterscheidungsaufgabe ist zu entscheiden, ob ein Reiz von einem anderen oder einer Gruppe von anderen verschieden ist. Eine Wiedererkenntnisaufgabe erfordert ein Urteil, ob ein bestimmtes visuelles Muster früher schon gesehen wurde oder nicht. Bei einer Identifizierungsaufgabe wird eingeschätzt, ob ein spezifischer, namentlich benannter Stimulus vorhanden ist oder nicht. Eine Beurteilungsaufgabe erfordert schließlich die Zuordnung eines fraglichen Musters zu einem spezifischen Punkt eines Kontinuums. Dember (1960) bringt die verschiedenen Wahrnehmungsaufgaben nach dem Grad der Einfachheit der Prozesse, die zu ihrer Erfüllung nötig sind, in eine Hierarchie: Entdeckung, Diskrimination, Beurteilung, Wiedererkennen, Identifizieren. Zusne (1970) übernimmt weitgehend die von Dember vorgezeichnete Einteilung, fügt aber als weitere Aufgabe die sogenannte "associative response" hinzu: Da die Form einer mehrdeutigen Figur die verbalen Assoziationen einer Person mitbestimmt, ist zumindestens dieser Aspekt der Reaktion als Wahrnehmungsaufgabe zu betrachten. Während die genannten Autoren eine einigermaßen vergleichbare Klassifikation verwenden, werden die verschiedenen Begriffe von anderen Autoren in nahezu beliebig austauschbarer Weise verwendet. Uttal (1975) etwa spricht vom Formen-Entdecken nicht im Sinne einer bloßen Wahrnehmung der Änderung von Lichtintensitäten wie Zusne, sondern in einem Sinn, den man alltagssprachlich als "Wiedererkennen bekannter Punktmuster unter maskierten Bedingungen" kennzeichnen könnte. Der Terminus "Diskrimination" wird unterschiedslos verwendet, ob unbekannte Zufallspolygone zu unterscheiden sind wie etwa bei Brown et alii (1962), Coules & Lekarczyk (1963) und Crook (1957), oder speziell gelernte metrische Figuren wie bei Fitts et alii (1956). Nach Zusne wäre hingegen im zweiten Fall "recognition" angebracht. Der Begriff "Diskrimination" wird aber auch verwendet (vergl. Casperson, 1950), wenn wohlbekannte und mit sprachlicher Bezeichnung versehene geometrische Formen zu unterscheiden sind - nach Zusne wäre hier "Identifizieren" angebracht. "Wiedererkennen" und "Identifizieren" werden

gleichfalls nicht sauber unterschieden. Während etwa French (1954) in seinem Experiment, bei dem Punktmuster durch Nennen von Namen zugeordneter Städte zu identifizieren waren, ganz im Sinne von Zusne von "identification" spricht, sieht Binder (1955) gerade die sprachliche Benennung eines Objekts als Kriterium für das Wiedererkennen an.

Die mangelnde Übereinstimmung bezüglich der Klassifizierung der verschiedenen Wahrnehmungsaufgaben läßt zweifelhaft erscheinen, ob hier wirklich eine durchgehende Hierarchie von Wahrnehmungsleistungen vorliegt. Liegt aber keine strenge Hierarchie vor, so müssen einer sinnvollen Klassifizierung andere Gliederungskriterien zugrundegelegt werden. Die folgende Klassifizierung orientiert sich an nichtbeobachtbaren, aus experimentellen Befunden erschlossenen Informationsverarbeitungsprozessen, stellt also eine theoretische Gliederung dar. Die verwendeten Begriffe sind jedoch, wie im einzelnen kenntlich wird, durchwegs auch operational definiert.

Eine erste Unterteilung ergibt sich aus einer zweifellos vorhandenen Hierarchie von Informationsverarbeitungsprozessen, die vom Betrachter gefordert werden. Im einfachsten Fall wird nur ein einzelner, unbekannter Reiz geboten. Die Wahrnehmungsleistung, die in diesem Fall zu erbringen ist, soll unbeschadet sonstiger Untergliederungen "Auffassen" heißen. Im nächst komplizierteren Fall werden gleichzeitig oder unmittelbar aufeinanderfolgend zwei Reize geboten, die miteinander in Beziehung zu setzen sind. (In vielen Versuchen werden nebeneinander mehrere Standard- und kritische Reize verwendet; die Probleme lassen sich jedoch auf Zweierbeziehungen reduzieren.) Die verschiedenen Bezugsoperationen, die hier möglich sind, sollen unter dem Begriff "Vergleichen" zusammengefaßt werden. Vergleichen setzt voraus, daß die beiden beteiligten Reize zuerst jeder für sich aufgefaßt wurden. Die Darbietung der beiden Reize läßt sich nun dahingehend variieren, daß der Standard-

reiz langfristig vor dem kritischen Reiz geboten wird und erst gelernt werden muß, um zu einem späteren Zeitpunkt mit dem kritischen Reiz in Beziehung treten zu können. In diesem Fall soll unabhängig von sonstigen Untergliederungen von "Wiedererkennen" gesprochen werden. Auch Wiedererkennen setzt ein vorhergehendes Auffassen beider Reize, wenn auch zu einem verschiedenen Zeitpunkt voraus. Die Darbietung der beiden Reize läßt sich nun schließlich dahingehend modifizieren, daß der Standardreiz zusammen mit einem Namen vor dem kritischen Reiz geboten wird, und der Name später als Indikator des Standardreizes reproduziert werden muß. Die Leistung, die durch diesen Aufgabentyp gefordert wird, soll einheitlich mit "Benennen" bezeichnet werden. Benennen setzt voraus, daß vorher Standardreiz und Name assoziiert wurden und daß ein Wiedererkennen in Bezug auf den kritischen Reiz stattfindet. Da Benennen Wiedererkennen voraussetzt, können Experimente, bei denen die Variablen der spezifischen Zusatzleistungen (Assoziationswert der zugeordneten Namen, Anzahl der gemeinsamen Darbietungen von Standardreiz und Name u.ä.) konstant gehalten, spezifische Variablen des Wiedererkennens (z.B. Art der Muster, Ähnlichkeit der Distoren u.a.) aber variiert werden, auch dem Bereich des Wiedererkennens zugeordnet werden.

Ein zweites, orthogonales Gliederungsprinzip gibt sich nun dahingehend, ob der kritische Reiz im Schwellenbereich geboten wird oder nicht. Als Schwellenbedingungen können dabei tachistoskopische Darbietung, schwache Beleuchtung, periphere Abbildung auf der Netzhaut, visuelles Rauschen in Form von maskierenden Zufallspunkten bei geordneten Punktmustern, Einbettung einer Figur in eine andere usw. fungieren. Sind solche erschwerenden Bedingungen vorhanden, so soll unbeschadet sonstiger Untergliederungen von "Entdecken" als geforderter Wahrnehmungsleistung die Rede sein. Die Verwendung von "Entdecken" als nebengeordnetes Gliederungskriterium entspricht dabei dem umgangssprachlichen Gebrauch. Man spricht in gleicher Weise von "entdecken" ob man einen bekannten oder einen unbekannten Gegenstand unter uneingeschränkten Wahrnehmungsbedingungen oder unter

eingeschränkten (etwa in der hintersten, dunklen Ecke eines Trödel ladens) findet. Belanglos ist dabei auch, ob einem der betreffende Gegenstand unter einem speziellen Namen geläufig ist oder nicht.

Ein drittes, gleichfalls orthogonales Gliederungsprinzip spezifiziert nun die Art der Beziehung näher, in der Standardreiz und kritischer Reiz zueinander stehen. Stimmen Standardreiz und kritischer Reiz nicht überein, so ist vom Betrachter die Leistung des "Diskriminierens" gefordert. Stimmen dagegen die beiden Reize überein, hat der Betrachter die Aufgabe des "Identifizierens" zu erfüllen. Die orthogonale Verwendung dieser beiden Begriffe entspricht wiederum dem allgemeinen Sprachgebrauch. So kann etwa ein Pilzsucher einen bestimmten Pilz an Hand eines Pilzbuches identifizieren, wenn er ihn noch nicht kennt (Vergleichsbedingungen), oder aufgrund früherer Wahrnehmungen (Wiedererkennensbedingung). Für die Identifizierungsleistung ist dabei belanglos, ob dem Sucher der Name des Pilzes einfällt oder nicht (Benennensbedingung). Für die Verwendung der beiden Begriffe ist weiterhin belanglos, ob uneingeschränkte oder beschränkte Wahrnehmungsbedingungen vorliegen. - Als weitere, auf das Diskriminieren und Identifizieren aufbauende Leistung ist schließlich das "Einschätzen" anzusehen. Einschätzen erfordert die Wahrnehmung und Bewertung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden zwischen den beiden fraglichen Reizen. In der folgenden Zusammenstellung ist das resultierende Klassifikationsschema zusammengefaßt. Die inneren Zellen enthalten Vorschläge für kombinatorische Bezeichnungen.

	Entdecken (krit. Reiz im Schwellenber. geboten)	Uneingeschränktes Wahrnehmen (krit. Reiz wird überschre- lig geboten)
Auffassen (Ein krit. Reiz wird allein ge- boten.)	Auffassen unter Entdeckungs- bedingungen Diskrimi- Identifi- Einschät- nieren zieren zen	Auffassen unter uneinge- schränkten Wahrnehmungs- bedingungen Diskrimi- Identifi- Ein- nieren zieren 2
Vergleichen (Standard- reiz und krit. Reiz werden gleichzeit. geboten)	Diskriminieren bzw. Iden- tifizieren bzw. Einschät- zen auf der Basis eines direkten Vergleichs unter Entdeckungsbedingungen	Diskriminieren bzw. Iden- tifizieren bzw. Einschät- zen auf der Basis eines direkten Vergleichs unter uneingeschränkten Wahr- nehmungsbedingungen
Wiederer- kennen (Der St.- Reiz wird langfrist. vor d. kr. Reiz geb.)	Diskriminieren bzw. Iden- tifizieren bzw. Einschät- zen auf der Basis eines Wiedererkennens unter Ent- deckungsbedingungen	Diskriminieren bzw. Iden- tifizieren bzw. Einschät- zen auf der Basis eines Wiedererkennens unter eingeschränkten Wahr- nehmungsbedingungen
Benennen (Der St.- Reiz wird zus. mit Namen lang- fristig vor. d. kr. Reiz geb.)	Namentliches Diskriminieren bzw. namentliches Identifi- zieren bzw. Einschätzen mit namentlicher Nennung des Be- zugsreizes unter Entdeckungs- bedingungen	Namentliches Diskrimi- nieren bzw. namentliches tifizieren bzw. Einschät- zen mit namentlicher Nennung des Bezugsreizes unter uneingeschränkten Wahr- nehmungsbedingungen

THEORIEN DES WIEDERERKENNENS

Die Probleme des Wiedererkennens spiegeln sich in einer Fülle von Theorien. Bevor auf einige dieser Theorien näher eingegangen wird sei zunächst ein Überblick gegeben.

Überblick über die Theorien des Wiedererkennens und seiner Teilaspekte

Katzaroff, auf den Koffka (1935) hinweist, zählt im Jahre 1911 bereits 14 Theorien des Wiedererkennens auf. Neuere Theorien befassen sich im Unterschied zu den älteren hauptsächlich mit dem Teilproblem der Stimulusäquivalenz. Es lassen sich hier verschiedene Ansätze unterscheiden. Die sogenannten "Feldtheorien" führen Konturbildung und Wiedererkennen auf die Entstehung elektrischer Felder (Köhler, 1941) oder auf die Ausbildung von Interferenzmuster zwischen sich ausbreitenden kortikalen Erregungen (Lashley, 1942) zurück. "Neuronale Netzwerk-Theorien" wie die von Hebb (1949), Pitts & McCulloch (1947), Ashby (1952) und Uttley (1956) machen die mehr oder weniger zufällige Verknüpfung der Neuronen in den Assoziationsfeldern zum Ausgangspunkt ihrer Überlegungen. Eine dritte Gruppe von miteinander konkurrierenden Theorien stellen die sogenannten "Muster-Kodierungs-Modelle" dar, die überwiegend auf Transferexperimenten mit Tieren beruhen. Zu nennen sind hier die verschiedenen Modelle von Uttley (1954), Deutsch (1955, 1960, 1962), Dodwell (1957, 1964) und Sutherland (1957, 1963). Während bei den letztgenannten Modellen die Rolle des Lernens (Uttley ausgenommen) für das Mustererkennen völlig ausgeklammert wird, nimmt Sutherland in einer neueren Theorie (1968, 1973) an, daß das Mustererkennen bei Tier und Mensch die Bildung,

Speicherung und Reaktivierung struktureller Beschreibungen involviert. Einen vierten Ansatz bildet die Entwicklung von mechanischen oder elektronischen Zeichenerkennungsmaschinen und zugehörigen Computerprogrammen, die als Modelle für das menschliche Wiedererkennen gelten können. Einen Eindruck von der Mannigfaltigkeit solcher Ansätze vermittelt etwa Uhr (1973). Überblicke über Computerprogramme enthalten u.a. Dodwell (1970, Kap. 5) und Zusne (1970, S. 74 ff.). Über die Technik älterer Zeichenerkennungsverfahren informiert etwa Steinbuch (1961). Mit modernen Entwicklungen der Bildverarbeitung befassen sich insbesondere die Sammlungen von Grasselli (1969) und Kaneff (1970). Ein fünfter Ansatz ist schließlich in modernen neuropsychologischen Theorien zu sehen, die eine Vielfalt psychologischer und physiologischer Befunde zu integrieren sucht. Ansätze dieser Art liegen etwa von Kesner (1973) und Betz (1974) vor. Kapitel über verschiedene ausgewählte Theorien des Wiedererkennens enthalten u.a. Neisser (1967), Zusne (1970), Coltheart (1972) und Carterette & Friedmann (1973). Monographien über das Mustererkennen bieten Corcoran (1971) und Reed (1973). Eine Sammlung kommentierter älterer und neuerer Arbeiten über das Mustererkennen enthält Dodwell (1971). Mit der Methodik von Wiedererkennensexperimenten befaßt sich insbesondere Hake & Rodwan (1966).

Die theoretische Vielfalt wird zusätzlich dadurch gefördert, daß das Wiedererkennen eine Reihe von Einzelaspekten besitzt, die ihrerseits zur Bildung von Spezialtheorien ohne übergreifenden Bezug herausfordern. Wiedererkennen ist zuallererst ein Phänomen der Wahrnehmung. Eine seriöse Theorie des Wiedererkennens müßte sich entsprechend mit den Ergebnissen der Wahrnehmungspsychologie und den bestehenden zahlreichen Theorien der Wahrnehmung, insbesondere solchen, die sich mit der Wirkung der Erfahrung oder (erfahrungsbedingten) Erwartung befassen, auseinandersetzen. Mit der Psychophysiologie der Konturwahrnehmung befaßt sich insbesondere Dodwell (1970). Eine erschöpfende Monographie

über die Wahrnehmung zweidimensionaler Formen mit einer Bibliographie von fast 2600 Titeln bietet Zusne (1970). Die Psychophysik der Raum- und Tiefenwahrnehmung behandeln speziell etwa Bischof (1966), Metzger (1966a) und Drösler (1966). Moderne Darstellungen der Wahrnehmungspsychologie bieten etwa Vernon (1974), Haber & Hershenon (1973), Rock (1975) und Murch (1978). Sammlungen älterer und neuerer einschlägiger Aufsätze enthalten Haber (1968, 1969) und Murch (1976). Unterschiedliche theoretische Ansätze, die sich mit dem engeren Problem der Wirkung der Erfahrung auf die Wahrnehmung befassen, finden sich u.a. in der alten Perzeptions-Apperzeptionslehre (Wundt, 1907; G.E. Müller, 1924; siehe auch von Senden, 1932), im Transaktionalismus (Ames, 1951; Ittelson, 1960, 1962; Ittelson & Cantril, 1954; Kilpatrick, 1961; Perrine, 1963), in der senso-tonischen Feldtheorie (Werner & Wapner, 1950), im ökologischen Prohabilismus (Brunswik, 1955), in Hebbs (1949) neuropsychologischer Theorie, in der "directive-state theory" (Bruner & Postman (1950), in der Hypothesentheorie (Postman, 1951, Bruner, 1951), in den Adaptationstheorien (Helson, 1964; Kohler, 1956, 1966; Held, 1962), in der Sättigungstheorie (Köhler & Wallach, 1944), in der Theorie des Wahrnehmungslernens als Differenzierung (Gibson & Gibson, 1955; E.J. Gibson, 1963, 1969), in der Theorie des Wahrnehmungslernens als assoziativer Anreicherung (Postman, 1955, 1963), in Piagets (1961) Theorie der Wahrnehmungsmechanismen, in der Theorie der Resonanz bestimmter Zellanordnungen (Lashley, 1950; J.J. Gibson, 1966) und schließlich in der Drei-Stufen-Theorie des Wahrnehmungslernens von LaBerge (1976). Die älteren dieser Theorien behandelt Allport (1955). Über das umfassendere Problem der nicht-sinnlichen Bedingungen der Wahrnehmung informiert Graumann (1966 b).

Wiedererkanntes steht immer im Zentrum der Aufmerksamkeit. Eine Theorie des Wiedererkennens hat sich entsprechend auch mit Ergebnissen und Theorien der Aufmerksam-

keit zu befassen. Zu nennen sind zunächst physiologische Theorien: die Theorie der attentionellen Prozesse im Gehirn (G.E. Müller, 1924), die Bahnungstheorie von Ebbinghaus (1911) und Dürr (1914), Hebbs (1949) Theorie der zentralen Erleichterung der Wahrnehmungsaktivität und die modernere Theorie der Erregung des Aufsteigenden Retikulären Aktivierungssystems (Lindsley, 1957). Psychophysiologische Aufmerksamkeitstheorien liegen in Hennings (1925) Sensibilisierungstheorie, in Rohrachers (1963) Theorie der funktionalen Leistungssteigerung und in Hofstätters (1957) Theorie der Suppressorfelder vor. Verschiedene psychologische Theorien versuchen, die Aufmerksamkeit aus anderen psychischen Erscheinungen abzuleiten. Nach W. Wundts (1907) Apperzeptionslehre ist sie eine Folge der Willenstätigkeit. Ähnlich sieht in ihr Mach (1906) einen Ausdruck des Willens. Nach Stumpf (19) entspringt sie dem Gefühl. Erdmann (1920) sieht dagegen in ihr eine letzte psychische Tatsache und zwar die psychische Energie schlechthin. Broadbent (1958, 1971) unterscheidet in neuerer Zeit vier Arten von Vigilanztheorien, die sich nicht notwendigerweise ausschließen: Die Inhibitionstheorie, die Erwartungstheorie, die Aktivierungstheorie und die Filtertheorie. Sein mechanisches Modell der Aufmerksamkeit (Broadbent 1957), das den Filtertheorien zuzurechnen ist, erwies sich als recht fruchtbar und wurde verschiedentlich weiterentwickelt (vergl. Normann, 1968). Über ältere Auffassungen über Aufmerksamkeit informiert Boring (1950). Eine Zusammenfassung neuerer Befunde enthält Moray (1969) und Swets & Kristofferson (1970). Die letztere Arbeit befaßt sich dabei eingehender mit dem Filterkonzept.

Wiedererkennen impliziert schließlich auch vorhergehendes Lernen und spätere Reaktivierung von Wahrnehmungsinhalten. Eine vollständige Theorie des Wiedererkennens muß entsprechend auch eine Theorie des Gedächtnisses mit einschließen. Gomulicki (1953) listet eine Fülle älterer Spurenthorien des Gedächtnisses auf. Sammlungen neuerer Gedächtnisthe-

rien, die insbesondere auch das Problem des Unmittelbaren Behaltens aufgreifen, enthalten etwa Norman (1970), Coltheart (1972), Cermak (1972) und Murdock (1974). Angesichts der Theorienvielfalt verzichten viele modernere Autoren weitgehend auf theoretisches Beiwerk und begnügen sich mit einer Sammlung von Lerngesetzen oder Lernergebnissen, die mit unterschiedlichsten Versuchsanordnungen und theoretischen Hintergründen gewonnen wurden, so etwa Foppa (1965), Bergius (1971) und Baddeley (1976).

Ausgewählte "große" Theorien

Es versteht sich, daß im folgenden nur auf einige der angesprochenen Theorien näher eingegangen werden kann. In die Auswahl wurden zunächst vier Theorien aufgenommen, die umfassende Aussagen über die Informationsverarbeitung beim Wiedererkennen und seinen Teilaspekten Wahrnehmung, Lernen und Aufmerksamkeit machen. Die erste gibt den Konsensus der älteren Assoziationspsychologie wieder, die sich bekanntlich eingehend mit dem Problem des Wiedererkennens auseinandersetzt. Die zweite, die Theorie der Gestaltpsychologie, ergänzt zwar die erste Theorie in entscheidenden Punkten, muß aber aus heutiger Sicht in einigen Punkten als irreführend oder zumindestens als zu einseitig betrachtet werden. Die dritte Theorie, die neuropsychologische Theorie Hebbs, verdient als vielleicht wichtigstes Beispiel eines Ansatzes Beachtung, dem auch in der vorliegenden Arbeit gefolgt wird. Die jüngere und jüngste Zeit ist durch eine nahezu unüberschaubare Vielfalt von Theorienbildungen gekennzeichnet, die jedoch meist nur einen speziellen Geltungsbereich beanspruchen. Aus der Fülle dieser Theorien wurde die von Neisser herausgegriffen, da sie vielleicht am entschiedensten die verschiedenen Aspekte der kognitiven Verarbeitung zu integrieren sucht. Alle genannten Theorien enthalten verschiedentlich gedankliche Ansätze, die in der eigenen Theorie wiederkehren.

Ältere assoziationspsychologische Anschauungen über die Grundlagen des Wiedererkennens

Frühere Vertreter der wissenschaftlichen Psychologie (Fechner, 1860; Wundt, 1903; Mach, 1906) sahen in einfachen Empfindungen bestimmter Intensität und Qualität die letzten, nicht mehr weiter reduzierbaren Elemente psychischen Geschehens. Komplexe solcher Elemente bilden Wahrnehmungsinhalte. Die Vertreter dieser Auffassung waren sich aber dabei bewußt, daß Wahrnehmungsinhalte nicht einfach als Summe von Empfindungen zu verstehen seien. Wundt schrieb zwar der Wahrnehmung, nicht aber den Empfindungen Raum und Zeit zu. Mach wies auf die Bedeutung der Form hin: so werden z.B. zwei Objekte unterschiedlicher Farbe als identisch erkannt, obwohl sich alle Einzelempfindungen unterscheiden.

Wahrnehmungsinhalte werden unter bestimmten Bedingungen assoziiert. Im Anschluß an Aristoteles und die Philosophie der Aufklärung werden dabei in der älteren Literatur vorwiegend drei Assoziationsgesetze genannt: Die Assoziation aufgrund zeitlich-räumlicher Nachbarschaft, aufgrund von Ähnlichkeit und aufgrund eines Kontrastes (im einzelnen hierzu: Esper, 1964). Die Annahme, daß unter den drei genannten Bedingungen "Vorstellungen" im Gedächtnis verknüpft werden, konnte zugleich als Erklärung dienen, daß ein später auftretender Bewußtseinsinhalt in räumlich-zeitlicher Nachbarschaft aufgetretene, ähnliche oder kontrastierende Erinnerungen hervorrufen konnte, eine Erfahrung, die sich jederzeit mit dem Reizwort-Versuch bestätigen läßt. Bemerkenswert ist, daß damit die Assoziationsgesetze nahezu untrennbar gleichzeitig Annahmen über das Lernen und über das Reaktivieren machen, indem sie Annahmen über das Lernen als Erklärungsprinzipien für das Reaktivieren heranziehen. Erst Höffding (1889) kritisierte diese allzu simple Auffassung. Er wies darauf hin, daß zu den Voraussetzungen des Wiedererinnerns auf der Basis einer Berührungsassoziation (die zu seiner Zeit

als allein gültiges Assoziationsgesetz betrachtet wurde) ein unmittelbares Wiedererkennen gehört. Die Reaktivierung einer Spur b durch den Reiz A setzt demnach zuerst eine Reaktivierung der mit A hinreichend verwandten Spur a voraus; durch die Miterregung der mit der Spur a assoziierten Spur b kommt es dann zur Reaktivierung von b. G.E. Müller (1924) als Repräsentant der älteren deutschen Gedächtnispsychologie unterscheidet dann klar zwischen Assoziationsbedingungen (Kontiguität) und Reproduktionsbedingungen (Gesetz der Koexistenz, der Sukzession, der Ähnlichkeit; initiale Reproduktionstendenz für Vorstellungskomplexe, die durch kollektive Auffassung entstehen).

Wiedererkennen beruht nach G.E. Müller darauf, daß die von dem Objekt hervorgerufene Erregung sich in ein durch die frühere Wahrnehmung des Objekts in seiner Konstitution beeinflusstes Residualzentrum fortpflanzt, und nun dieses Zentrum auf das Eintreten einer Erregung, auf die es abgestimmt ist, mit einem Erregungsprozeß zweiter Ordnung, der den Bekanntheitseindruck bedingt, reagiert (S. 35).

G.E. Müller weist schließlich auch darauf hin, daß Wahrnehmungen normalerweise apperzeptiven Charakter besitzen. Das Wesen der Apperzeption besteht darin, daß eine auftretende Vorstellung durch andere von ihr reproduzierte Vorstellungen eine Ergänzung oder Deutung findet. Ein Akt der Apperzeption ist es z.B., wenn ein vernommener Schall als Schlag der nächsten Turmuhr aufgefaßt wird. Mit "apperzeptiver Verschmelzung" bezeichnet er die Bildung einer einheitlichen Vorstellung auf der Grundlage eines Sinneseindrucks und eines durch diesen unmittelbar geweckten, von früheren gleichen oder ähnlichen Eindrücken herrührenden Erkennen eines Gegenstandes. Diese Theorie G.E. Müllers entspricht weitgehend den früher vorherrschenden Anschauungen über das Wiedererkennen (vergl. Schumann, 1907).

Die ältere Theorie des Wiedererkennens nimmt eine Reihe von Positionen vorweg, die sich auch in der hier vertretenen Theorie finden: das Konzept der Assoziation, das jedoch hier nicht als alleiniges Verknüpfungsprinzip angesehen wird, das Höffing'sche Prinzip und der Gedanke einer von der Spur gelieferten Erregung. Die drei klassischen Assoziationsgesetze - also auch das Gesetz des Kontrastes, das von G.E. Müller als überflüssig erachtet wird - werden sowohl als gültige Einspeicherungsgesetze (für die Items ABC) als auch als gültige Reproduktionsgesetze (genauer: Reaktivierungsgesetze für die Beziehung Prozeß-Spur, A-a, B-b usw. betrachtet. Als Einspeicherungsgesetze besitzen die drei Gesetze einen unterschiedlichen Rang. Nach der hier vertretenen Theorie wird, wie im einzelnen noch genauer ausgeführt werden wird, ein afferentes Erregungsmuster in einem primären Informationsverarbeitungsschritt so modifiziert, daß strukturelle Gemeinsamkeiten hervorgehoben werden. Diese strukturellen Gemeinsamkeiten werden gespeichert und wieder reaktiviert, wenn ein späteres afferentes Erregungsmuster dieselben Gemeinsamkeiten aufweist. Im Rahmen dieser Annahmen ist das Kontiguitätsgesetz als *conditio sine qua non* anzusehen: Zeitlich-räumliche Nachbarschaft bildet eine unverzichtbare Notwendigkeit für das primäre Kodieren und für die integrative Speicherung von strukturellen Einzelinformationen. Ähnlichkeit und Kontrast begünstigen hingegen nur zusätzlich die Einspeicherung. Beide Bedingungen implizieren, daß die betreffenden Items zum Teil gemeinsame Information und damit zusammen weniger Information enthalten als neutrale Items. Ähnliche oder kontrastierende Items werden deshalb als Serie schneller erlernt. Daß die Assoziationsgesetze gleichzeitig gültige Reaktivierungsgesetze darstellen, leuchtet für das Ähnlichkeitsgesetz unmittelbar ein. Im Falle des Kontrastgesetzes sind zwar die beteiligten Inhalte als solche sehr verschieden, enthalten aber immer auch ein Stück gemeinsame Information: die Dimension, innerhalb derer sie Kontraste darstellen, sowie den formalen Sachverhalt, Gegensätze dar-

zustellen. In diesem Sinne sind z.B. "warm" und "kalt" ähnlicher als z.B. "warm" und "25". Auch das Kontiguitätsgesetz wird als Reproduktionsgesetz angesehen: Gemeinsam auftretende Einzelereignisse bilden eine Gesamtnachricht. Tritt ein einzelnes Ereignis später allein auf, so wirkt es deshalb als reaktivierend, weil es ein Stück übereinstimmende Information besitzt.

Die assoziationspsychologische Theorie des Wiedererkennens fordert nicht nur zu einer Umdeutung der Assoziationsgesetze heraus, sie ist auch dahingehend zu kritisieren, daß sie die Bedeutung der Struktur von Reizobjekten für die Organisation des Wahrnehmungsfeldes, für das Lernen, Reaktivieren, Wiedererkennen und Reproduzieren nicht gesehen hat. Dies ist genau der Punkt, an dem die Kritik der Gestaltpsychologie ansetzt.

Gestaltungspsychologische Theorie des Wiedererkennens

Metzger (1966 b) nennt wenigstens vier Vorläufer der Gestaltpsychologie, die klar erkannten, daß die Gliederung des Wahrnehmungsfeldes in einzelne Gegenstände nicht selbstverständlich ist, sondern einer Erklärung bedarf: Berkeley, Kant, von Ehrenfels und G.E. Müller. Der letztere unterscheidet dabei schon verschiedene "Kohärenzfaktoren". Wertheimer (1923) nahm das Problem als erster experimentell in Angriff und stellte die ersten Gestaltgesetze auf, die seit dem ein Kernstück der Gestalttheorie ausmachen. Gestaltpsychologen nehmen an, daß autochthone Kräfte das Wahrnehmungsfeld im Sinne einer möglichst hohen Prägnanz organisieren, so daß eine ganz bestimmte Gruppierung der einzelnen Teile des Feldes resultiert. Die Regeln, nach denen ausgehend von einer jeweils bestimmten Eigenheit der Reizkonstellation eine jeweils bestimmte phänomenale Gliederung erfolgt, sind in den einzelnen Gestaltgesetzen beschrieben. Diese Regeln gelten im großen und ganzen auch für zeitliche Verläufe, die sogenannten

"Zeitgestalten" (Systematik: K. Müller, 1963; Überblick über die Einzelbefunde: Metzger, 1966 b). Spätere Autoren (Koffka 1935; Metzger, 1954, 1975) wiesen weiter darauf hin, daß die von Rubin (1921) erforschte anschauliche Gliederung des Wahrnehmungsfeldes in eine in bestimmter Weise geformte, hervortretende Figur und einen unbestimmten, ungeformten, unscheidbaren Grund nach Gesetzen erfolgt, die den Gruppierungsgesetzen weitgehend entsprechen. Das somit auch für diesen Bereich gültige Prägnanzprinzip wird weiter zur Erklärung verschiedener Phänomene im Bereich des einäugigen Tiefensehens (Metzger, 1966 a) und der geometrischen Täuschungen (Rausch, 1966) herangezogen.

Köhler (1920) sah in elektrischen Feldkräften die physiologische Basis der autochthonen Kräfte, die zur Bildung von Gestalten führen. Er nahm an, daß im Gefolge afferenter Erregungen elektrochemische Vorgänge, die ionischen Reaktionen in Lösungen ähneln, zur Ausbildung von Feldern bestimmter ionischer Konzentration und damit elektrischen Potentials in den kortikalen Projektionsfeldern führen. Die Abbildungsrelation zwischen erlebtem Phänomen und zentralnervösem Prozeß ist dabei eine topologische (Isomorphieprinzip). Die Theorie wurde später noch dahingehend ausgebaut, daß der Elektrotonus ("Sättigung"), der beim Durchgang eines Stroms durch ein Medium entsteht, zur Erklärung des figuralen Nacheffekts herangezogen wurde (Köhler, 1940; Köhler & Wallach, 1944).

Was das Einspeichern betrifft, wurde von Seiten der Gestaltpsychologen vor allen Dingen die These von der bloßen räumlichen-zeitlichen Nachbarschaft als Bedingung für das Entstehen einer Assoziation angegriffen (vergl. K. Müller, 1964). Nach ihrer Auffassung werden Spuren von Einzelereignissen im Gedächtnis nicht assoziiert, sondern sie organisieren sich nach denselben Gruppierungsgesetzen, die für das Wahrnehmungsfeld gelten (Köhler, 1938, 1941, 1971). Dabei wird explizit angenommen, daß Assoziationen in Wirklichkeit

als innerer Zusammenhang von einheitlichen Spuren zu sehen sind, die aufgrund einheitlicher, mehrere organisierte Einzelglieder umfassende Erfahrungen gebildet werden. Wenn sich zwei Items zu einer Paargruppe spontan organisieren, dann ist kein Aufwand zur Bildung entsprechender Assoziationen nötig, weil die fraglichen Assoziationen gewöhnlich durch diese Organisation per se gebildet werden (Köhler, 1941, 1958). Spuren bleiben ferner im Gedächtnis nicht unverändert, sondern erleiden autonome Veränderungen in Richtung auf eine größere Geschlossenheit (Koffka, 1935; Katona, 1940; Köhler & von Restorff, 1933).

Von gestaltpsychologischer Seite wurde auch das Problem der Reaktivierung, speziell das Höffding'sche Problem aufgegriffen. Nach ihrer Auffassung ist nicht nötig, daß der Prozeß A dabei selbst zu a gelangen muß (Köhler & von Restorff, 1937), es genügt die Annahme, daß die selektive Wirkung von A auf a in einer physiologischen Paarbildung ohne Vereinigung der beiden Prozesse besteht, die in ihren funktionellen Eigenschaften der Paarbildung im Sehraum entspricht. Aus dieser Annahme läßt sich die Hypothese ableiten, daß die Wirkung von A auf a von der Beschaffenheit des Zwischenfeldes abhängt, d.h. von Prozessen und deren Spuren, die in der Zeit zwischen der Bildung von a und dem neuerlichen Auftreten von A fallen. Werden die Zwischenfeldbedingungen immer ähnlicher A und a gewählt, oder werden bei unveränderten Zwischenfeldbedingungen A und a weniger ähnlich gemacht, so müssen spontane Reproduktionen genauso beeinträchtigt werden, wie die spontane Entstehung von Paaren im Sehraum unter vergleichbaren Bedingungen gestört ist. Die Hypothese konnte bestätigt werden (Köhler & von Restorff, 1937; Bartel, 1938).

Koffka (1935, S. 591 ff.) greift schließlich auch das Problem der Bekanntheitsqualität auf. Nach seiner Anschauung ist die Spur eines Objekts normalerweise Teil einer größeren Spur, die neben einem Subsystem für das Objekt auch ein Subsystem für das Ich umfaßt, da Objekte der Umwelt normalerweise immer auch eine mehr oder weniger enge Beziehung zwischen Objekt und Ich implizieren. Ein neuer Prozeß kommuniziert immer mit einer ganzen Spur; ihr Ich-Anteil ermöglicht den Bekanntheitseindruck.

Der Einfluß der Erfahrung auf die Wahrnehmung wird von gestaltpsychologischer Seite zwar gesehen (vergl. Wertheimer, 1923, S. 331-337), im allgemeinen aber als gering veranschlagt. In diesem Zusammenhang wird vor allen Dingen auf die starke Beeinträchtigung der Lesbarkeit von Wörtern, die Kopf an Kopf zusammen mit ihren vertikalen Spiegelbildern geboten werden, sowie auf Versuche vom Gottschalt'schen Typ hingewiesen (vergl. Metzger, 1966b, S. 711 ff.; Köhler, 1966, Figuren 10 und 12).

Vom hier vertretenen Standpunkt aus scheint insbesondere die These beachtenswert, daß gewisse angeborene zentralnervöse Einrichtungen zu einer Gliederung des Wahrnehmungsfeldes führen. Richtig erscheint weiter der Hinweis, daß Lernvorgänge durch Bildung von Assoziationen nicht hinreichend beschrieben werden und die Strukturiertheit des Lernmaterials eine entscheidende Rolle spielt. Kritisch ist einzuwenden, daß die Bedeutung des Lernens für die Wahrnehmung unterschätzt wird. Die scheinbare Bedeutungslosigkeit der Erfahrung läßt sich, wie später genauer ausgeführt werden wird, durch Eigenheiten des Reaktivierungsvorgangs erklären. Das eng mit der Erfahrung zusammenhängende Problem der Einstellung und Aufmerksamkeit wird weitgehend ausgeklammert. Ob autonome Veränderungen im Spurenfeld stattfinden, erscheint aufgrund einer Fülle von experimentellen Ergebnissen zweifelhaft (vergl. Hörmann, 1964). Die These Köhlers, daß ein Prozeß nicht notwendigerweise mit der Spur in Kontakt

treten muß, um sie für die Reproduktion verfügbar zu machen, ist abzulehnen. Ein Prozeß führt ja nicht nur zur Reaktivierung gespeicherter Information, sondern hinterläßt gleichzeitig auch immer eine bleibende Änderung (Vervollständigung oder Modifizierung der Spur). Diese zweite Wirkung läßt sich aber nicht mehr in Analogie zur Paarbildung im Sehraum erklären. Gegen Köhlers Theorie der kortikalen Feldprozesse wurde vor allen Dingen eingewendet, daß ein Kurzschließen kortikaler Ströme mittels Plazierung einer Goldfolie auf der Oberfläche des Okzipitallappens oder Einbringung vertikaler Goldnadeln die Fähigkeit von Affen, eine vorher erlernte Unterscheidung zwischen zwei geometrischen Figuren weiterhin auszuführen, nicht beeinträchtigt (Lashley, Chow & Semmes, 1951). Es ist ferner fraglich, wie sich diese Theorie mit neueren physiologischen Befunden, speziell mit der Entdeckung rezeptiver Felder, in Einklang bringen läßt.

Hebbs neuropsychologische Theorie

Hebb (1949) kritisiert die Gestalttheorie der Wahrnehmung, indem er darauf hinweist, daß die offensichtliche Einfachheit von Wahrnehmungen, d.h. ihr Ganzheitscharakter, das Endergebnis eines additiven, teilweise von der jeweiligen motorischen Aktivität abhängenden, langen Lernprozesses ist. Die Kritik bezieht gleichzeitig auch Lashleys (1942) Theorie mit ein, die mittels der Annahme von irradiierenden Erregungswellen und deren Interferenz-Muster das Phänomen der Stimulus-Äquivalenz zu klären sucht. In seiner eigenen Theorie sucht Hebb nicht nur die Probleme der "perzeptuellen Generalisation" (Stimulusäquivalenz), sondern auch die der Stabilität des Gedächtnisses und der Instabilität der Aufmerksamkeit zu lösen.

Hebb nimmt an, daß beliebige Paare oder Gruppen von Zellen, die wiederholt zur selben Zeit aktiv sind, dazu tendieren assoziiert zu werden, so daß die Aktivität in ei-

ner Zelle die Aktivität in einer anderen Zelle erleichtert. Diese Erleichterung erfolgt durch Verringerung des synaptischen Widerstandes infolge einer Vergößerung der synaptischen Knöpfe. An Beispielen von zufälligen Netzwerken einzelner Zellen in Brodmans Region 17, 18, 19 und 20, die durch Konvergenz bestimmter afferenter Axone gekennzeichnet sind, wird aufgezeigt, wie wiederholte gleichartige Reizung jeweils derselben Zellen zu einer ständig stabiler werdenden Aktivität von miteinander verbundenen Zellgruppen führt. In diesen funktional assoziierten sogenannten "cell assemblies" zirkuliert ein Nervenimpuls noch eine Zeit lang weiter, auch wenn die initiale Stimulierung schon aufgehört hat. Cell assemblies sind demnach gleichzeitig "reverberatory circuits". Hebb weist darauf hin, daß diese circuits die physiologische Basis des Kurzzeit-Gedächtnisses bilden könnten, während die Persistenz oder Wiederholung der "reverberatory activity" dauernde zelluläre Veränderungen als Basis des längerfristigen Behaltens hervorrufen. Cell assemblies, insbesondere solche, die auf die Wahrnehmung von Linien und Winkel zurückgehen, bilden die Bausteine komplexerer Wahrnehmungen. Blickt beispielsweise eine Person, die noch kein Dreieck kennt, wiederholt nacheinander auf die Ecken eines Dreiecks, so entsteht ein übergeordnetes System, da die den Ecken des Dreiecks korrespondierenden cell assemblies dank der Reverberation bis zu einem gewissen Grad gleichzeitige Aktivität zeigen. Dabei spielt die zeitliche Abfolge der Einzelerregungen, die durch die jeweilige Blickfolge hervorgerufen wird, eine wichtige Rolle. Hebb nennt eine Abfolge solcher Aktivitäten von Zellverbänden mit ihren zwischengeschalteten Elementen "phase sequence". Im übrigen leugnet er die Rolle von Gestaltfaktoren nicht völlig; er betrachtet insbesondere die Figur-Grund-Trennung, die ja zur Bildung von Einheiten im Sehfeld führt, als angeboren. Es bleibt aber weitgehend unklar, wie diese Faktoren mit den cell assemblies und phase sequences bei der Wahrnehmung komplexer Inhalte zusammenwirken.

Im Rahmen dieser Theorie wird die Stimulus-Äquivalenz dadurch erklärt, daß ähnliche Formen wie z.B. Dreiecke verschiedener Größe, eine Reihe identischer Elemente enthalten: Linien und Winkel in derselben Orientierung. Das Phänomen der Aufmerksamkeit, das mit perzeptuellen Sets gleichgesetzt wird, wird auf zentrale Erleichterung einer perzeptuellen Aktivität, mithin auf die Bildung von cell assemblies und phase sequences zurückgeführt.

Vom hier vertretenen Standpunkt aus erscheint als wichtiger Fortschritt, daß der Bedeutung der Erfahrung für die Wahrnehmung gebührend Rechnung getragen wird. Bemerkenswert ist auch der Gedanke, daß das kurzfristige Behalten auf das Nachklingen einer zentralen Erregung zurückgeführt wird, während die Basis des langfristigen Behaltens in einer dauerhaften Bahnung der Erregungsausbreitung zwischen Nervenzellen gesehen wird. Interesse verdient ferner, daß die Aufmerksamkeit mit zentralnervösen Lernvorgängen in Beziehung besetzt wird. Gleichwohl darf Hebbs Theorie als widerlegt betrachtet werden. Wertheimer (1951) weist darauf hin, daß Hebb in entscheidenden Punkten einen seiner wichtigsten Gewährsleute (von Senden, 1932) falsch zitiert. Eine weitere Schwäche ist darin zu sehen, daß auf der Basis dieser Theorie die Gruppierungsgesetze der Gestaltpsychologen nicht erklärt werden können. Nach Hebbs Theorie dürfte ferner kein interokularer Transfer bei visuell erfahrungslosen Tieren auftreten. Dies ist jedoch nicht der Fall (Siegel, 1953a, 1953b; Meyers & McCleary, 1964). Fraglich bleibt schließlich auch, ob Blickbewegungen wirklich die Rolle spielen, die ihnen Hebb zuschreibt. Ganz & Wilson (1967) trainierten erfahrungslose Affen, horizontale und vertikale Linien zu unterscheiden. Ein optisches System verhinderte, daß die Tiere die Konturen der Figuren mit den Augen verfolgen konnten. Nach Hebb hätte unter diesen Bedingungen kein Lernen stattfinden dürfen; gleichwohl generalisierten die Affen auf eine Vielfalt anderer Formen in einer Art und Weise, die sich nicht von der normaler Affen unterschied.

Neissers Theorie der Informationsverarbeitung

Neisser (1967) nimmt an, daß der visuelle Input zunächst in irgendeinem Medium ("iconic memory") in Form eines Bildes ("icon") gespeichert wird, aber dort einem rapiden Verfall unterliegt. Von diesem Bild wird die Information sukzessive abgelesen, d.h. in einen verbalen Code übersetzt und in dieser Form kurzfristig gespeichert. Die Reihenfolge dieser Kodierung hängt von perzeptuellen Sets ab. Die Spanne des kurzfristigen Behaltens - sie bildet gleichzeitig die Basis der Auffassungsspanne - ist zwar prinzipiell auf vier bis sieben Items beschränkt, kann aber durch geeignete Kodierung erhöht werden.

Die Übersetzung des Icons in den verbalen Code setzt ein Wiedererkennen des visuellen Musters voraus. Der Prozeß des Wiedererkennens ist hierarchisch nach Art des Pandämoniums von Selfridge (1959) organisiert (vergl. auch Neisser, 1963). Die unterste Stufe dieser Hierarchie bilden sogenannte "feature analyzers", die gleichzeitig und unabhängig voneinander den sensorischen Input auf das Vorhandensein gewisser Merkmale (z.B. geschlossener Perimeter, parallele Linien usw.) testen. Die nächste Stufe bilden "character analyzers", die von jeweils bestimmten zugeordneten Merkmalsanalysatoren gespeist werden. Liegt ein bestimmter Charakter vor, so werden jeweils verschiedene Charakteranalysatoren stimuliert, da diese gewisse Merkmalsanalysatoren jeweils gemeinsam besitzen. Als Indikator für die Art des vorliegenden Charakters gilt der am stärksten stimulierte Charakteranalysator. Das System ist prinzipiell lernfähig; so lassen sich die Charakteranalysatoren dahingehend programmieren, daß sie ihren Input von Seiten der Merkmalsanalysatoren unterschiedlich gewichten.

Neisser ist sich bewußt, daß eine Merkmalsanalyse nur dann erfolgreich sein kann, wenn vorher eine Gliederung des Wahrnehmungsfeldes, in der Sprache der Komputertheoretiker also eine Segregation der einzelnen vorhandenen Zeichen stattgefunden hat. Er nimmt entsprechend an, daß sogenannte "präattentive Prozesse" zu einer ganzheitlich-globalen Gliederung des Icons führen nach Regeln, wie sie von den Gestaltpsychologen beschrieben wurden. Die Merkmalsanalysatoren kommen erst im Anschluß an diese relativ grob analysierenden Prozesse zum Einsatz. Sie prüfen dabei nicht den ganzen visuellen Input, sondern nur den Teil, der sich im Bereich der fokalen Aufmerksamkeit befindet. Die fokale Aufmerksamkeit erweist sich im übrigen nicht als rein analytischer, sondern bis zu einem gewissen Grad auch als synthetischer Prozeß: Sie rekonstruiert Muster aus einigen analysierten Bestandteilen.

Visuelle Information wird nicht nur kurzfristig im "iconic memory" oder längerfristig und langfristig im auditiven Gedächtnis gespeichert, sondern wird auch in einem speziellen visuellen Gedächtnis über längere Zeit aufbewahrt, wie sich u.a. im visuellen Wiedererkennen, im Wahrnehmungslernen und der visuell gesteuerten Reproduktion zeigt. Vom Gedächtnis gelieferte Bilder bilden dabei ähnlich wie Wahrnehmungsinhalte keine photographische Abbildungen schnappschußartiger Einzelerfahrungen, sondern werden bei jeder Gelegenheit konstruiert, bei der sie erlebt werden. Dies zeigt sich insbesondere bei der Integration aufeinanderfolgender perzeptiver Einzeleindrücke, bei normalen, eidetischen und hypnagogischen Vorstellungen, sowie bei Träumen und Halluzinationen.

Neissers Modell enthält wesentliche Züge des weithin akzeptierten Zwei-Stufen-Modells des Gedächtnisses, das zum Teil auf Vorstellungen Sperlings (1963; modifiziert 1967) basiert und am entschiedensten von Atkinson & Shiffrin

(1968, 1971) entwickelt wurde. Grundgedanken dieses Modells finden sich in vielen neueren Konzepten wieder (z.B. Norman & Rumelhart, 1970; Glanzer, 1972; Baddeley, 1976; Loftus & Loftus, 1976). Nach diesem Gedächtnismodell gelangt die von den Sinnesorganen gelieferte Information zuerst in ein "sensory register", in dem praktisch die gesamte sensorische Information sehr kurzfristig repräsentiert ist. Solch ein sensorisches Register besteht für jede Sinnesmodalität. Mittels "pattern recognition"-Prozesse wird ein kleiner Teil der Information in akustischer Form in den "short-term store" überführt, wo er binnen 15 - 30 Sekunden verloren geht, wenn er nicht in einer Untersektion des Kurzzeit-Gedächtnisses, dem sogenannten "rehearsal buffer", mittels Memoriexprozesse immer wieder aufs neue aufgefrischt wird. Information, die sich hinreichend lange im Kurzzeit-Speicher befunden hat, wird schließlich ins Langzeitgedächtnis überführt, das nahezu grenzenlose Kapazität besitzt. Mittels "retrieval"-Prozesse kann Information aus dem Lanzeitspeicher wieder in den Kurzzeitspeicher überführt werden, der in diesem Fall dann als "working memory" fungiert. Verschiedene Kontrollprozesse beeinflussen im einzelnen den Informationsfluß durch das Register und die beiden Gedächtnisse.

Neissers Theorie ist nicht unwidersprochen geblieben. Sternberg (1966, 1967) fand, daß die Zeit für eine Entscheidung, ob ein Item Mitglied eines spezifizierten Gedächtnisssets ist, linear mit der Zahl der Items im Gedächtnis ansteigt. Sein Modell postuliert im Gegensatz zu Neissers Konzept, daß ein Test-Item zuerst kodiert und dann seriell mit jedem Item des Gedächtnisssets verglichen wird. Cavanagh & Chase (1971) unternahmen einen experimentellen Vergleich der beiden widersprüchlichen Modelle, wobei sie eine Item-Erkennungs-Aufgabe (analog zu Sternberg) einer Suchaufgabe mit Force-choice-Charakter (analog zu Neissers Vorgehen) gegenüberstellten. Sie fanden in beiden Fällen, daß die Latenzzeit linear mit der Größe des Gedächtnisssets zunahm, was

ihrer Meinung nach nicht Neissers Hypothese einer parallel arbeitenden präattentiven Stufe unterstützt, während der Zielmuster und Distraktoren differentiell verarbeitet werden. Neissers Modell ist damit nicht notwendigerweise widerlegt, da das Vorgehen der beiden Autoren zumindestens in zwei Punkten, im Ausmaß der Einübung des Gedächtnisses und im zahlenmäßigen Verhältnis von Zielmuster und Distraktoren von Neisser abweicht. Offensichtlich kann aber Neissers Modell nur einen sehr eingeschränkten Geltungsbereich beanspruchen.

Aus eigener Sicht scheint die Annahme präattentiver, segregierender Prozesse mit nachfolgender Merkmalsanalyse durchaus sinnvoll. Es ist jedoch zu kritisieren, daß kein Versuch unternommen wird, die Art der präattentiven Prozesse genauer zu kennzeichnen. Die Hierarchie der Merkmalsanalyatoren bleibt gleichfalls weitgehend unbestimmt. Am schwersten wiegt jedoch, daß die gemeinhin bekannte Tatsache, daß Wiedererkennen Lernen voraussetzt, weitgehend übergangen wird.

Ausgewählte spezielle Theorien

Einige speziellere Theorien verdienen Erwähnung, weil in ihnen Teilprobleme angesprochen werden, die für die hier vertretene Theorie von zentraler Bedeutung sind.

Informationstheorie und Wahrnehmung

Trotz des eminenten Einflusses, den die Informationstheorie auf das heutige psychologische Denken ausübt,

ist die Anwendung zentraler Begriffe wie "Informationsgehalt" und "Redundanz" als nicht geklärt zu betrachten. In der psychologischen Literatur werden die Begriffe in grundsätzlich zweifacher Weise gebraucht. Die früheste Anwendung auf Ergebnisse über die absolute Einschätzung ein- und mehrdimensionaler Stimuli (Garner & Hake, 1951; Pollack, 1952, 1953a; Klemmer & Frick, 1953; Pollack & Ficks, 1954 u.a.) orientierte sich am technischen Informations- und Redundanzmaß, das von Shannon (1948) eingeführt wurde. Danach bestimmt sich der Informationsgehalt eines Reizes (oder auch Reaktion) nach der Wahrscheinlichkeit seines Auftretens. Erfolgt die Auswahl eines Reizes aus einer Grundgesamtheit von Alternativen ("Repertoire") rein zufällig, so hängt sein Informationsgehalt ausschließlich von der Zahl der Alternativen ab. Bestehen unterschiedliche Auswahlwahrscheinlichkeiten, bestimmt sich sein Informationsgehalt nach einem gewichtigen Mittel der Informationen, die die einzelnen Alternativ-Signale erbringen. Die Redundanz eines Reizes entspricht dem Ausmaß, in dem dieses gewichtete Mittel hinter dem maximal möglichen zurückbleibt (Attneave, 1959; Garner, 1962; Mitten-ecker & Raab, 1973). Garner führt bezüglich der Redundanz näher aus, daß dieser Begriff in exakter Weise nur auf Sets von Ereignissen, nicht dagegen auf die Charakterisierung eines einzelnen Vorkommnisses angewendet werden kann, da die Redundanz ein Maß des Grades ist, in dem eine gegebene Zahl von Stimuli kleiner ist, als die Grundgesamtheit, der sie entstammt. Folgerichtig verwendet Garner auch zur Bestimmung der Redundanz einer einzelnen Figur den Begriff des "inferred set": Wenn ein Einzelmuster wahrgenommen wird, so wird auf ein Set von Mustern geschlossen, dem das Einzelmuster entstammt. Ist dieses Set klein, ist die Redundanz des Einzelmusters entsprechend hoch.

Die zweite Bedeutung des Informations- und Redundanzbegriffs, die unabhängig voneinander von Attneave (1954, 1955) und Hochberg & McAlister (1953) eingeführt wur-

de, macht nicht die Zahl der möglichen, der tatsächlich verwendeten und der erschlossenen Alternativen zum Ausgangspunkt der Überlegungen, sondern geht von einem völlig anderen Gesichtspunkt aus: von der inneren Ordnung und Vorhersagbarkeit eines Musters. Ist ein Muster in sich regelmäßig (homogen, invariant) aufgebaut, so kann ein intelligenter Empfänger aus der Anordnung einiger weniger Elemente des Musters auf die Anordnung der übrigen schließen, die somit nichts mehr zur Information beitragen. Die Redundanz eines Musters bestimmt sich nach dieser Auffassung nach dem Grad der Ordnung im Aufbau eines Musters. Ein Muster, das aus einer zufälligen Anordnung von gerade noch sichtbaren Punkten zufälliger Farbe und Helligkeit bestünde, hätte danach maximalen Informationsgehalt und minimale Redundanz, während eine homogene Fläche minimalen Informationsgehalt und maximale Redundanz besäße. Folgt man Klix (1971), so läßt sich der technische Informationsbegriff als "metrische" Information bezeichnen, während die Information, die sich an der Menge der Unordnung in der Anordnung der Elemente eines Musters orientiert, "strukturelle" Information heißen mag. Klix enthält auch Ansätze zur Quantifizierung dieser strukturellen Information.

Garner (1974) versucht in einer überarbeiteten Version seiner Theorie die beiden unterschiedlichen Ansätze bis zu einem gewissen Grad zu versöhnen, indem er darauf hinweist, daß "gute" Muster kleineren Sets entstammen. Nach seiner Auffassung bilden Stimuli mit einer gemeinsamen dimensional Struktur (d.h. mit gemeinsamen Merkmalskategorien) ein Gesamtset. Dieses Gesamtset läßt sich in Subsets aufspalten, die durch "correlational structure", d.h. durch gemeinsames Auftreten gewisser Merkmalsausprägungen gekennzeichnet ist. Die Subsets sind umso kleiner, je mehr Merkmale korreliert sind. Auf die Beziehung Subset-Gesamtset läßt sich nun das informationstheoretische Konzept der Redundanz anwenden: Je kleiner ein Subset gemessen an der Größe

des Gesamtsets ist, umso redundanter ist es. Auf diese Weise gelingt es Garner, eine Beziehung zwischen der Regelmäßigkeit des Aufbaus von Subsets und der Redundanz im technisch-metrischen Sinn herzustellen. Das Konzept läßt sich auch auf die Qualität von Gestalten anwenden. Am Beispiel von Punktmustern weist der Autor auf, daß gute Gestalten kleinen Subsets entstammen und deshalb redundant sind. Empirische Untersuchungen bestätigen die Beziehung (Garner & Clement, 1963; neuerdings auch Glushko, 1975). Die Redundanzbeziehung gilt nicht nur für die Wahrnehmung von Sets von Stimuli, sondern auch für die Wahrnehmung einzelner Stimuli. Garner nimmt an, daß in diesem Fall Vpn sowohl die zugehörigen Subsets als auch totalen Sets erschließen und somit die Redundanz erfassen.

Kritisch ist gegen Garners Theorie der erschlossenen Sets einzuwenden, daß die Bildung von Subsets eine mehr oder weniger große Invarianz des Aufbaus der Mitglieder eines Subsets voraussetzt. Es ist deshalb denkbar, daß Personen nicht eine Beziehung zwischen tatsächlich gegebenen oder erschlossenen Subsets und Gesamtsets, sondern Regelmäßigkeiten im Aufbau von Subsets oder einzelner Muster selbst erfassen. Garner sieht zwar diese Möglichkeit in Bezug auf Symmetrie und Rotation bei Punktmustern, hält aber sein Konzept für das übergeordnete, umfassendere. Dagegen ist jedoch einzuwenden, daß Vpn nicht nur Symmetrie und Invarianz bei Rotation, sondern nahezu beliebige Invarianzen im Aufbau eines einzelnen Musters oder eines Sets von Mustern erfassen; Attneave (1954) gibt einen Eindruck davon. Weitere Belege enthält die vorliegende Arbeit (vergl. das folgende Kapitel). Die unglaubliche Annahme von erschlossenen Sets bei der Wahrnehmung eines Einzelmusters muß zugunsten des strukturellen Informationskonzepts zurückgewiesen werden.

Theorien der Stimulus-Äquivalenz

Eine Reihe von Modellen und Theorien befaßt sich mit dem Kernproblem des "pattern recognition": mit der Frage, wie visuelle Muster als solche trotz teilweise erheblicher Spielbreite der individuellen Ausführung, unterschiedlicher Größe, Orientierung usw. identifiziert werden. Neisser (1967) unterscheidet dabei zwei Ansätze, den des Schablonen-Vergleichs und den der Merkmalsanalyse. Eine Reihe von Maschinen, die gewöhnlich zum "Lesen" von Ziffern oder Buchstaben eingesetzt werden (Überblick: Fischer, 1962), benützt jeweils ein Set von Zeichen, die nacheinander oder gleichzeitig mit einem fraglichen Muster in Art einer Schablone verglichen werden. Die Funktionsweise dieser Maschinen läßt sich am einfachsten aus dem von Steinbuch (1961) referierten Verfahren nach G. Tauschek ersehen. Hierbei wird das zu identifizierende Zeichen, z.B. eine schwarze Zahl auf weißem Grund, mittels einer Linse auf die Außenseite eines Reifens entworfen, in dem sich Öffnungen in Form der Vergleichszeichen befinden. Stimmt nun nach entsprechender Zentrierung die Abbildung der Zahl und die Form des Lochs überein, so fällt nur minimales Licht durch die Öffnung. Hinter dieser Blende befindet sich ein Wandler, der die durchscheinende Lichtmenge in entsprechend starke Ströme verwandelt. Ein Minimum dieses Stroms indiziert die richtige Zahl. Die Schwächen dieses Systems als Modell für das menschliche Wiedererkennen liegen vor allem in seinem Unvermögen, den breiten Bereich der empirisch beobachtbaren Stimulusäquivalenz erklären zu können. Gleichwohl scheint dieses Modell richtiger zu sein, als man bisher angenommen hat. So besteht beispielsweise beim Suchen eines Gegenstandes eine Wahrnehmungseinstellung, die man geradezu als Vorhandensein eines schablonenhaften "Suchbildes" interpretieren möchte, da sich das Suchobjekt jederzeit als bildhafte Vorstellung vergegenwärtigen läßt und sich mitunter sogar als Illusion in der Wahrnehmung durchsetzt.

Unter dem Etikett "feature analyzing" wird von Neisser eine heterogene Gruppe von Theorien zusammengefaßt, die davon ausgehen, daß beim Wiedererkennen nicht das Vorhandensein ganzheitlicher Muster, sondern das Vorhandensein von "features" geprüft wird. Neisser nennt hier vor allen Dingen Komputertheoretiker wie Selfridge (1959), Feigenbaum (1963), Doyle (1960), Selfridge & Neisser (1960), Uhr (1963) und Rosenblatt (1958), ferner so unterschiedliche Ansätze wie die Theorien von Sutherland (1957, 1959, 1963a, b), Hebb (1949) und Bruner (1957). Reed (1973) rechnet die theoretischen Ansätze von Gibson & Gibson (1955, 1966, 1969), alle Netzwerktheorien und alle Pattern-Coding-Modelle dazu. Eine Fülle weiterer Autoren beruft sich in ihren Theorien auf dieses Konzept, darunter auch Garner (1974). Was mit "feature" genau gemeint ist, bleibt jedoch reichlich unklar. Es lassen sich wenigstens vier verschiedene Bedeutungen unterscheiden. Mit "feature" wird zunächst der Besitz eines bestimmten Teils bezeichnet (z.B. das Vorhandensein eines horizontalen Strichs beim Buchstaben A; vergl. etwa Gibson et alii, 1963). Der Begriff wird weiter für das Vorhandensein einer bestimmten Anordnung von Teilen verwendet (z.B. "cyclic change", "symmetry", a.o.o.). Er wird bedeutungsgleich mit "Eigenschaft" im Sinne einer quantitativen Ausprägung einer Merkmalkategorie verwendet (vergl. "feature vector" bei Norman & Rumelhart, 1970) und bezeichnet schließlich auch qualitative Merkmale (z.B. Rundheit, Eckigkeit; vergl. Neisser, 1967, S. 71). Unklar bleibt auch, ob die unterstellten Merkmalsanalysatoren angeboren (wie etwa Sutherland, 1959, oder Selfridge, 1959, explizit annehmen) oder erworben sind (wie die neuronalen Netzwerktheorien annehmen). Die verschiedenen Musterkodierungsmodelle gehen zwar von einer ganz bestimmten, vorgegebenen Verarbeitungsweise aus, schließen jedoch die Möglichkeit des perzeptuellen Lernens nicht aus, worauf Dodwell (1970) ausdrücklich hinweist. Hinzu kommt ein weiterer Gesichtspunkt. Werden unter features Teile von Mustern verstanden, dann bleibt unerklärt, wie die Teile zentralnervös

zu von einander abgegrenzten Mustern zusammengesetzt werden; das Problem der Ganzheit ist also nicht berücksichtigt. Werden aber unter features Eigenschaften, d.h. Aspekte von Mustern verstanden, dann erhebt sich das Problem der Substanz: Merkmalsanalysatoren mögen sehr wohl einzelne Eigenschaften unterscheiden können, wie aber unterscheiden sie Personen oder Gegenstände als Träger dieser Eigenschaften? Andererseits scheint das feature-Konzept ein großes Stück Wahrheit zu enthalten: Es wird den empirischen Fakten im Umkreis des Stimulus-Äquivalenz-Problems recht gut gerecht.

Die beiden von Neisser antithetisch gegenübergestellten Ansätze decken das Feld der Möglichkeiten nicht vollständig ab. Eine Reihe von Komputertheoretiker versuchte, die Schwächen der verschiedenen Programme zu beheben, in dem sie Muster nicht nur auf eine Liste von einander unabhängiger Merkmale zu reduzieren, sondern auch die räumlichen Relationen, in denen die verschiedenen Teile eines Musters zueinander standen, mit zu erfassen suchten. Beispiele bilden etwa die "Grammatik", die von Narasimham & Reddy (1967) zur Beschreibung von Buchstaben und das Programm, das Guzmán (1969) zur Analyse zweidimensional abgebildeter dreidimensionaler Objekte entwickelt wurde. Sutherland (1968) entwarf eine Theorie, in der strukturelle Beschreibungen eine wichtige Rolle spielen. Nach dieser Theorie wird der visuelle Input zuerst durch einen Prozessor mittels paralleler Extraktion lokaler Eigenheiten analysiert, wobei Information über die räumlichen Relationen zwischen den features erhalten bleibt. Ein weiterer Mechanismus produziert eine abstrakte Beschreibung des Prozessor-Outputs. Diese Beschreibungen werden darn schließlich gespeichert. Sutherland ergänzte seine Theorie später (1973) dahingehend, daß ein einzelnes Objekt in verschiedener Weise repräsentiert sein kann. So können

beispielsweise Kuboide als Gruppe von an den verschiedenen Punkten der Retina produzierten Helligkeitswerten oder als acht Linien bestimmter relativer Länge, die in bestimmter Richtung verlaufen und an bestimmten Punkten verbunden sind oder schließlich als zweidimensionale Repräsentation eines Kuboids mit zwei quadratischen und vier rechteckigen Oberflächen beschrieben werden. Der Vorteil von Sutherlands Theorie ist darin zu sehen, daß sie fast alle experimentellen Befunde über das menschliche und tierische Wiedererkennen erklären kann. Kritisch ist gegen diese Theorie jedoch einzuwenden, daß auch sie die Gliederung des Wahrnehmungsfeldes in Einzelobjekte bereits voraussetzt und somit nicht erklärt.

Uttal (1975) geht in einem weiteren Ansatz von der Annahme aus, daß irgendein neuraler Mechanismus, der sich in der mathematischen Sprache der Korrelation beschreiben läßt, die Fähigkeit besitzt, regelmäßige oder organisierte Signale aus einem zufälligen Rauschen zu extrahieren, ohne hierzu andere Kriterien als die, die im Signal selbst enthalten sind, zu benützen. Er überprüfte diese Annahme der Autokorrelation mittels einer Komputersimulation, die sich im Prinzip eventuell vorhandene Übereinstimmungen in der Anordnung der einzelnen Punkte nach systematischem Verrücken des Gesamtmusters in alle möglichen Positionen zunutze macht. Diese Theorie wird hier genannt, weil ihr Grundgedanke dem hier vertretenen Konzept über die primäre Organisation afferenter Meldungen bis zu einem gewissen Grad entspricht. Daß der konkreten Komputersimulation jegliche physiologische Basis fehlt, dürfte freilich außer Zweifel stehen.

DIE ORGANISATION DES WAHRNEHMUNGSFELDES

Wird ein optisches Bild der gegenständlichen Welt auf die Netzhaut entworfen, so wird das gesamte Reizmuster in Einzelmeldungen aufgespalten, die jede für sich keine Information über das Insgesamt der Reizquelle oder Reizquellen enthalten, sondern jeweils nur einen Punkt einer Reizquelle abbilden. Daraus ergibt sich ein Problem: Woher weiß das ZNS, welche Punkte auf der Netzhaut von demselben Reizobjekt affiziert werden? Phänomenologisch betrachtet: Wieso sehen wir eine phänomenale Welt, die aus abgegrenzten Gegenständen und nicht aus einer Menge zusammenhangloser Einzelpunkte besteht? Irgendwie muß das ZNS die Vielfalt der Einzelmeldungen gliedern, muß Einzelmeldungen zusammenfassen, die reizquellenmäßig zusammen gehören, und die entstehenden Gruppen von einander abheben. Wie ist dies möglich? Eine Vielfalt experimenteller Befunde spricht dafür, daß sich das ZNS zur Lösung seiner Aufgabe im Prinzip die strukturelle Redundanz physischer Reizquellen zunutze macht.

Zum Begriff der strukturellen Information und strukturellen Redundanz

Die physische Welt der Reizobjekte erweist sich bis zu einem gewissen Grad als geordnet und damit prinzipiell vorhersagbar. Sie enthält nicht lauter verschiedene Dinge, sondern weist eine begrenzte Zahl von "Baumustern" und damit Gruppen vielfach wiederkehrender gleichartiger oder zumindestens sehr ähnlicher Gegenstände auf. So ist beispielsweise ein bestimmter Baumtyp, etwa eine Fichte, in Milliarden von Exemplaren vertreten. Betrachtet man ein konkretes Einzel-

ding näher, so ist dies meist nicht aus völlig verschiedenen Bausteinen aufgebaut, sondern besteht aus einem begrenzten Satz vielfach wiederkehrender Bausteine. So weist beispielsweise eine Fichte eine Vielfalt gleichartiger Nadeln, Markstrahlen usw. auf. Zu dieser Invarianz der Bausteine kommt eine gewisse Invarianz der Anordnung der Bausteine. Die Einzelteile sind normalerweise nicht völlig regellos angeordnet, sondern folgen bestimmten Anordnungsprinzipien. So kommen gleiche Bausteine, etwa die Nadeln einer Fichte, meist gehäuft an einem Ort und nicht zufällig verteilt im ganzen Raum vor, weisen meist gleiche räumliche Orientierung auf, besitzen weitgehend gleichartige Abstände usw. Der Aufbau der Dinge läßt dabei vielfach eine Hierarchie erkennen: Eine bestimmte Anordnung kleinster Bauteile bildet eine Untereinheit, die ihrerseits als Baustein eines größeren, regelhaft strukturierten Verbandes fungiert usw. Atome, die ihrerseits wieder aus bestimmten Anordnungen bestimmter Elementarteilchen bestehen, bilden in einer bestimmten Anordnung ein Molekül. In bestimmter Weise angeordnete Moleküle ergeben weiter die verschiedenen Bausteine einer Zelle, also Zellkern, Mitochondrien usw. Die Zellen ihrerseits bilden die Bausteine von Geweben und Organen, aus denen schließlich ein Lebewesen zusammen gesetzt ist. Auf allen Stufen dieser Hierarchie findet sich eine beträchtliche Homogenität: Es wird jeweils eine begrenzte Anzahl von Bausteintypen verwendet, die in vielfältigen Einzelexemplaren vorliegen. Die Bausteine gleicher oder fremden Typs sind ferner nicht wild durcheinandergewürfelt, sondern in ganz bestimmter regelhafter Weise angeordnet. Strukturelle Information über die physische Welt ist Information über die Art und die Anordnung der Bausteine, aus denen die Welt als Ganzes oder einzelne Objekte aufgebaut sind. Der strukturelle Informationsgehalt eines einzelnen Gebildes oder eines Umweltausschnitts bestimmt sich nach der Menge der Unordnung in der Art und der Anordnung der konstituierenden Bausteine. Die strukturelle Redundanz schließlich ist das Maß, in dem der Informationsgehalt einer gegebenen Anordnung hinter dem maximal möglichen Informationsgehalt (bei gleicher Anzahl von Bausteinen) zurückbleibt. Sie ist umso größer,

je weniger unterschiedliche Bausteintypen verwendet werden und je regelhafter die individuellen Bausteine angeordnet sind.

Wird nun ein optisches Bild der gegenständlichen Welt auf die Netzhaut entworfen, so bleibt im Rahmen der Möglichkeiten des optischen Apparats die strukturelle Invarianz der Reizobjekte im Netzhautbild erhalten: Gleiche Bausteine senden gleiche optische Reize aus; die Anordnung der Bausteine wird gleichfalls zumindest topologisch richtig widergegeben.

Die phänomenale Wahrnehmung spiegelt die strukturelle Ordnung der Welt, was größere Objekte anbelangt, gleichfalls wider. Wir erfassen unmittelbar, daß beispielsweise ein Nutzwald aus lauter gleichartigen Bäumen besteht, die in Reih und Glied angeordnet sind. Im Bereich kleiner und kleinster Bausteine findet die phänomenale Wahrnehmung jedoch eine wichtige Beschränkung: Die einzelnen Bausteine sind ab einer bestimmten Größe nicht mehr unterscheidbar; an Stelle einer Gruppe von in bestimmter Weise angeordneter, gesonderter Bausteine sehen wir nur mehr eine homogene Fläche bestimmter Form. Die *a n s c h a u l i c h* gegebene strukturelle Information läßt sich entsprechend näher differenzieren. Bei der Wahrnehmung homogener Gebilde besteht die strukturelle Information nicht in der Information über die Art und die genaue Anordnung von Einzelbausteinen, sondern in der Information über die Qualität (Farbe, Helligkeit), die Form (räumliche Grenze) und die räumliche Orientierung der Fläche innerhalb der anschaulichen Waagerechten und Senkrechten. Die Information über die Qualität ersetzt in gewisser Weise die Kenntnis der Art der Bausteine. Die Information über die Form und die Orientierung des Gebildes spiegelt nur die Anordnung der Grenzbausteine wider; die innere Anordnung innerhalb der Konturgrenzen bleibt unberücksichtigt. Strukturelle Information über anschauliche Wahrnehmungsinhalte ist demnach entweder Information über die Qualität (Farbe, Helligkeit) und die Form anschaulich homogener Flächen oder Information über die Art und die Anordnung solcher Flächen, die als Elementarbausteine der Anschauung fungieren, oder über die Art und die Anordnung komplexerer, aus Elementarflächen zusammengesetzter Gebilde.

Die Gestaltgesetze

Die Prinzipien, nach denen figurale Zusammenhangbildungen entstehen (nach denen also das ZNS Einzelmeldungen zusammenfaßt), sind in den Gestaltgesetzen niedergelegt, die zuerst von Wertheimer (1923) genauer erforscht wurden. Dabei zeigt sich, daß die Organisationstendenzen nicht nur für die Einzelteile konsistenter Gebilde, sondern interessanterweise auch für diskrete Einzelgebilde gelten: letztere werden, wenn die in den Gestaltungsgesetzen genannten Bedingungen erfüllt anschaulich zu Gruppen zusammengefaßt. Wertheimer hat seine Gesetze ursprünglich an Punktegruppierungen und Strichfiguren aufgezeigt. Eine ganze Generation von Gestaltpsychologen hat diese Gesetze in der Folgezeit an verschiedenartigstem Material exemplifiziert und in mehrfacher Hinsicht ergänzt (Überblick: Metzger, 1964, 1975). Überdies zeigte sich, daß die zuerst von Rubin (1921) aufgewiesene Figur-Grund-Gliederung nach Gesetzen erfolgt, die mit den Gruppierungsgesetzen weitgehend übereinstimmen (Koffka, 1935; Metzger 1966b, 1975).

Schon Wertheimer fiel auf, daß sich die verschiedenen Einzelgesetze zu einem allgemeinen Prinzip, dem Gesetz der guten Gestalt (Prägnanzprinzip) verallgemeinern lassen: Durch die anschaulichen Zusammenhangsbildungen wird das Wahrnehmungsfeld im Sinne möglichst großer Einfachheit gegliedert mit anderen Worten also so, daß ein denkbar hohes Maß an Ordnung, an struktureller Redundanz resultiert. Dies ist ein Gedanke, der in der Folgezeit wiederholt unter verschiedenen Aspekten geäußert wurde. Hamburger (1927) formulierte in seiner "Theorie des Energieminimums" den Gedanken, daß sich alle Gestaltgesetze unter ein einheitliches Ökonomieprinzip subsumieren lassen: Diejenige Möglichkeit, bei welcher im Gehirn möglichst viele Erregungen mit dem geringsten Energie-Aufwand zu einer Einheit zusammengefaßt werden, wird realisiert. Musatti (1931) wies auf den Aspekt hin, daß die Gestaltgesetze ein einziges Prinzip, das der Homogenität enthalten. So ist

Ähnlichkeit in Bezug auf den Raum, Ähnlichkeit in Bezug auf die Qualität, das gemeinsame Schicksal in Bezug auf Bewegung oder Änderung und gute Kontinuation in Bezug auf die Richtung. Attneave (1954) wies darauf hin, daß jede Art von physikalischer Invarianz eine Quelle der Redundanz für einen Organismus darstellt, der diese Invarianz angemessen nützen kann. Er machte erneut darauf aufmerksam, daß das Prinzip der Homogenität die Gestaltgesetze Wertheimers übergreift und gab hierfür einige Beispiele. Hochberg & McAlister (1953) stellten die These auf, daß die Wahrscheinlichkeit, daß eine bestimmte Figur in ganz bestimmter Weise wahrgenommen wird, umso größer ist, je geringer die Menge an (struktureller) Information ist, die die gegebene Organisation gegenüber anderen Alternativen definiert. Diese These wurde von den Autoren an drei anschaulichen Beispielen aufgewiesen und an Kopfermann-Würfeln (Kopfermann, 1930) experimentell bestätigt.

Die verschiedenen Gestaltgesetze werden meist in der von Wertheimer vorgegebenen unsystematischen Reihenfolge dargestellt. Es scheint jedoch sinnvoller, sie nach der Art der Invarianz auf Seiten der Reizquellen zu gliedern, die zu einer anschaulichen Zusammenhangsbildung in der Wahrnehmung führt. Eine erste Art der physischen Invarianz ist in der Invarianz der Qualität, d.h. der Farb- und Helligkeitseigenschaften diskreter Reizquellen oder von Teilen konsistenter Reizquellen gegeben. Auf sie bezieht sich der Gestaltfaktor der Gleichartigkeit (Gleichheit, Ähnlichkeit): Es besteht eine Tendenz zur Ausbildung von Gruppen oder Bereichen, die in sich einheitlich sind. Da umgekehrt qualitative Unterschiedlichkeit, so sie ein gewisses Minimum überschreitet, zur Ausbildung von an den Qualitätssprüngen verlaufenden Grenzen führt, ist in erster Linie diesem Faktor die Gliederung des Gesamtfeldes in Einzelbereiche zuzuschreiben. Für die Entstehung scharfer Grenzen im Sehfeld sind dabei in erster Linie Helligkeitsunterschiede erforderlich; reine Farbumterschiede bei gleicher Helligkeit ergeben auch bei steilstem Anstieg nur verschommene Übergänge (Liebmann, 1927). Die Ordnende Wirkung des Faktors liegt auf der Hand. Wir sehen

nicht Myriaden von diskreten Einzelpunkten, sondern eine überschaubare Vielfalt von in sich homogenen Gebilden oder zusammengehörigen Gruppen solcher Gebilde.

Eine zweite Art der physischen Invarianz ist in der Invarianz der räumlichen Lage zu sehen. Insbesondere diskrete Kleingebilde können sich auf zufällige Punkte im Raum verteilen, sie können sich an bestimmten Orten häufen oder - als entgegengesetztes Extrem - sich alle an einem Ort zusammenballen. Der Faktor der Nähe besagt, daß Kleingebilde so zusammengefaßt werden, daß möglichst dichte und möglichst stark von anderen abgesetzte Gruppen entstehen. Die anschauliche Informationsersparnis liegt darin, daß durch das Erfassen der Positionen der resultierenden wenigen Punktgruppen die Position der vielen Einzelpunkte bereits weitgehend bestimmt ist.

Eine dritte Art der physischen Invarianz betrifft die Form von konsistenten Gebilden oder Punktkonfigurationen. Die Form kann weitgehend regellos wie bei einem bizarren Gesteinsbrocken oder regelhaft wie bei einer Kugel sein. Eine Reihe von Gestaltfaktoren zeigt hier eine Tendenz zu einer möglichst geringen Zahl von Formprinzipien im anschaulichen Aufbau von Gebilden. Ganz klar tritt dies beim Faktor des Aufgehens ohne Rest zutage: Elemente, die nach irgendwelchen Prinzipien zur Paarung geeignet sind, gliedern sich bevorzugt so, daß an keinem Ende der Reihe ungepaarte Einzelglieder übrigbleiben. Bliebe ein "Rest" übrig, müßte dieser durch ein gesondertes Strukturprinzip gekennzeichnet werden. Klar tritt diese Tendenz auch im Faktor der durchgehenden Kurve, sowie im Gesetz der Einheitlichkeit des Stils (Metzger, 1975) im Faktor der Ebenbreite (Morinaga, 1942), im Gesetz der größten Einheitlichkeit des Grundes (Koffka, 1935), im Gesetz der einfachsten Schichtung (Metelli, 1941), im Gesetz

Beständigkeit (Metzger, 1975) und im Gesetz der Symmetrie (Metzger, 1975) zutage. Wertheimers Faktor der objektiven Anordnung läßt sich dagegen dahingehend verstehen, daß ein Ordnungsprinzip, das sich zu Beginn einer Reihe als sinnvoll erwiesen hat, im weiteren Verlauf bei allmählicher Änderung der Reizgegebenheiten über Gebühr beibehalten wird. Die Tendenz zu möglichst wenigen Strukturprinzipien kann umgekehrt auch als Tendenz zur Zusammenfassung möglichst vieler Konturschnitte oder Teilen von Punktkonfigurationen unter einheitliches Formprinzip gekennzeichnet werden. Diese Tendenz sollte auch zu einer anschaulichen Zusammenfassung möglichst vieler ganzheitlicher Gebilde gleicher Form führen. Die entsprechende Zusammenhangsbildung läßt sich nach dem Faktor der Gleichartigkeit auch tatsächlich beobachten. Der Faktor der Gleichartigkeit stellt, was vielfach nicht besonders herausgestellt wird, nicht nur einen Faktor der qualitativen Invarianz (s.o.), sondern auch der Forminvarianz dar.

Eine weitere Art der physischen Invarianz betrifft die Änderung, also das Verhalten von Gebilden in der Zeit. Es versteht sich, daß die Änderung prinzipiell die Qualität, die Form oder die Lage betreffen kann. Der Faktor des gemeinsamen Schicksals besagt, daß Teile von konsistenten Gebilden oder Gruppen von separaten Gebilden anschaulich zusammengefaßt werden, wenn sie sich in gleicher Weise ändern. Auch hier ist es Information sparender, die Einzelschicksale des Gruppenschicksals wahrzunehmen, als gesondert eine Vielzahl von Einzelschicksalen einzeln zu erfassen.

Faßt man zusammen, so zeigt sich, daß die in den Taltsengesetzen beschriebenen Organisationstendenzen auf eine möglichst große strukturelle Redundanz des anschaulichen Wahrnehmungsfeldes abzielen. Anders betrachtet: Es wird versucht, möglichst viele Einzelmeldungen unter möglichst wenigen Qualitäts-, Lage-, Form- und Änderungsprinzipien zu subsumieren.

Entdecken von maskierten Punktmustern

Organisationstendenzen zeigen sich nicht nur bei der Wahrnehmung speziell konstruierter Punkt- und Strichfiguren, sondern auch beim Entdecken maskierter Punktmuster. Uttal (1975) berichtet in seinem Buch über verschiedene Experimente, bei denen Punktfiguren durch unterschiedliche Mengen von zufällig verteilten Punkten gleicher Größe ("noise") maskiert wurden. Die Vpn hatten anzugeben, welche von jeweils zwei Darbietungen das mehr oder weniger regelmäßig aufgebaute Punktmuster ("signal") enthielt. Der Autor fand im wesentlichen, daß die Entdeckbarkeit einer geraden, gepunkteten Linie stark mit der Distanz zwischen den konstituierenden Punkten abnimmt, mit der Anzahl der konstituierenden Punkte zunimmt und ferner durch unregelmäßige Abstände zwischen den Punkten und durch Abweichung von der Konlinearität stark beeinträchtigt wird. Die Entdeckbarkeit gerader gepunkteter Linien ist der gekrümmter oder gewinkelter überlegen. Die Seiten von gepunkteten Dreiecken sind wesentlich entscheidender für ihre Erkennbarkeit, als die Ecken. Die Verwandlung eines regelmäßig gepunkteten Musters (Quadrat) in ein weniger regelmäßiges (Parallelogramm) führt zu einem monotonen Abfall seiner Entdeckbarkeit. Die Organisation eines Sets gepunkteter Linien in regelmäßige polygonale Formen oder lineare Anordnungen erhöht ihre Entdeckbarkeit gegenüber unregelmäßigen Arrangements.

Faßt man diese Ergebnisse zusammen, so zeigt sich, daß maskierte Punktkonfigurationen umso leichter entdeckt werden können, je zahlreicher die konstituierenden Punkte und je einfacher das oder die Prinzipien ihrer Anordnung sind. Dies bedeutet aber nichts anderes, als daß die Entdeckbarkeit von der strukturellen Redundanz des betreffenden

Punktmusters abhängt. Die Bedeutung der Redundanz zeigt sich dabei nicht nur für das Muster als ganzes, sondern auch für seine Teile: Die Punkte, die die Seiten von Dreiecken bilden, sind wesentlich redundanter als die Eckpunkte, da die Kenntnis der Lage einiger weniger Seitenpunkte die Lage der übrigen vorherzusagen gestattet. Bezeichnenderweise tragen gerade diese Seitenpunkte zur Entdeckbarkeit bei.

Homogenisierungstendenzen

In den klassischen Gestaltgesetzen und den Entdeckungsgesetzen maskierter Punktmuster zeigt sich eine Tendenz, Einzelmeldungen, die in Bezug auf Qualität, Lage, Form und Änderung invariant sind, zusammenzufassen. Es zeigt sich nun, daß diese Gruppierungstendenzen gleichzeitig Hand in Hand mit einer Homogenisierungstendenz gehen: Einzelmeldungen, die nur geringfügig von der Masse der übrigen abweichen oder auch nur ambivalent sind, werden alle in homogener Weise aufgefaßt. Zu nennen ist hier in erster Linie das Phänomen des Ganzfeldes und der Mach'schen Bänder (Mach, 1906): Wenn ein einheitlicher Helligkeitsgradient innerhalb eines Ganzfeldes eingeführt wird, so daß an jedem Punkt der Gradient unterhalb einer bestimmten Schwelle liegt, dann wird die allmähliche Änderung der Helligkeit nicht gesehen; das Feld erscheint vielmehr einheitlich. Grenzen zeigen sich nur bei hinreichend starken Qualitätssprüngen.

Homogenisierungstendenzen zeigen sich ähnlich auch in der Form-, Lage- und Bewegungswahrnehmung. Attneave (1968) zeigte an ambivalenten Figuren (gleichseitige und gleichschenkelige Dreiecke und Vierecke verschiedener Anordnung) auf, daß innerhalb einer anschaulich zusammengefaßten Gruppe alle Teilgebiete anschaulich gleiche Form und gleiche Orientierung aufweisen. Gillam (1972, 1975) wertet umgekehrt Homogenisierungstendenzen und zwar ge-

meinsame Drehbewegung von Teilen zweideutiger Stimuli als Kriterium für Gruppierungen in der Wahrnehmung.

Ergänzungen

Die der Organisation des Wahrnehmungsfeldes zugrundeliegende Tendenz, möglichst viele Einzelmeldungen unter ein einheitliches strukturelles Prinzip zu subsumieren, zeigt sich sehr deutlich auch im Phänomen der Ergänzungen, die stets in Richtung auf ein möglichst homogenes Wahrnehmungsfeld erfolgen. Metzger (1966b) unterscheidet hier die Ausfüllung, die Erweiterung und die Vervollständigung im eigentlichen Sinn, wobei weiter danach unterschieden wird, ob die Ergänzungen an einem ungehindert sichtbaren Reizmuster (unverdeckt) oder bei Überschneidung durch undurchsichtige Gebilde (verdeckt) erfolgen. Ein Beispiel für eine unverdeckte Ausfüllung wäre etwa die Ausfüllung des blinden Flecks, die auch bei einäugigem Sehen erfolgt. Eine verdeckte Ausfüllung liegt etwa im anschaulichen Hindurchgehen des Grundes hinter der Figur vor. Eine unverdeckte Erweiterung zeigt sich beispielsweise in der Ergänzung eines gesehenen Gebildes, das teilweise in einem etwa durch Verletzung sehuntüchtigen Bereich des Auges abgebildet wird, dem ein funktionstüchtiger Bereich der Sehsphäre zugeordnet ist, eine verdeckte hingegen etwa in der anschaulichen Fortsetzung einer durch ein Loch gesehenen Farbfläche nach allen Seiten. Beispiele für unverdeckte und verdeckte Vervollständigungen wären etwa die Schließung einer Lücke in einem tachistoskopisch gebotenen Kreis oder die Ergänzung der Rückseite von undurchsichtigen Körpern. Metzger weist ausdrücklich darauf hin, daß es sich bei den genannten Vervollständigungen durchwegs um

Auswirkungen des Prägnanzprinzips handelt, da sich einerseits die ergänzten Figuren durch größere Einfachheit und Regelmäßigkeit auszeichnen, andererseits die Ergänzungen ausbleiben, wenn man die Ausgangsgebilde so ergänzt, daß sie durch Zusätze im Verdeckungsbereich nicht einfacher oder regelmäßiger werden.

Über Ergänzungen wird auch von nicht-gestaltpsychologischer Seite berichtet. Insbesondere Yarbus (1967) berichtet in seiner Monographie über Augenbewegungen über eine Reihe solcher Phänomene. Wird mittels einer sinnvollen Vorrichtung, die ein Wandern des Netzhautbildes bei Augenbewegungen verhindert, ein stabiles Bild auf die Netzhaut entworfen, dann verschwindet binnen 1 - 3 Sekunden die Wahrnehmung von Konturen und Farben und es entsteht ein leeres Feld. Der Effekt als solcher ist wenigstens seit 1804 bekannt (vergleiche Yarbus, S. 17) und beruht wahrscheinlich auf dem on-off-Effekt der optischen Rezeptoren. Er erfuhr in jüngerer Zeit einige Aufmerksamkeit (u.a. Pritchard, 1961; et alii, 1960; Evans 1965; McKinney, 1966). Yarbus konnte zeigen, daß das leere Feld keine eigene Farbe besitzt, sondern immer die Farbe der Umgebung annimmt, so daß es unter normalen Bedingungen nicht gesehen wird. Mit anderen Worten, das visuelle System extrapoliert die sichtbare Farbe der Ränder ins Mittelfeld. Dies funktioniert jedoch nur, wenn die Umgebung homogen ist. Wird z.B. hinter einem stationären Testfeld ein homogenes Feld bewegt, so wird zunächst noch das stationäre Feld vor dem bewegten gesehen, dann entsteht ein leeres Feld im Bereich des stabilen Feldes, das schließlich die Farbe der Umgebung annimmt, so als wäre nur ein einheitliches bewegtes Feld bestimmter Farbe vorhanden. Wird jedoch an Stelle des homogenen bewegten Feldes ein geschecktes verwendet, so bleibt nach Verschwinden des stationären Feldes ein leeres Feld in Größe des stationären Feldes bestehen. Die Interpolierung der Umgebungsfarbe benötigt jeweils eine gewisse Zeit (ca. 2 - 3 Sek.), was sich leicht durch sukzessives Wechseln

der homogenen Farbe des bewegten Feldes zeigen läßt. Die interpolierte Farbe im Bereich des stabilen Feldes hinkt dann immer der momentanen Umgebungsfarbe hinterher.

Erfassen von Strukturprinzipien

Es ist zu erwarten, daß ein System, das Einzelmeldungen im Sinne maximaler struktureller Redundanz organisiert, Strukturprinzipien, also Homogenität der Qualität der Form usw. als solche unmittelbar erfassen kann. Untersuchungen von Blickbewegungen zeigen, daß dies tatsächlich der Fall ist. Neben einer Reihe von Arbeiten, die sich in der Mehrzahl mit der Frage befassen, welche Teile eines Gemäldes oder einer Photographie die Aufmerksamkeit auf sich ziehen und welche Faktoren für die Ästhetik eines Bildes verantwortlich sind (Stratton, 1902; Buswell, 1935; Yarbus, 1967), existieren einige wenige Untersuchungen, die sich mit der Formwahrnehmung und hier speziell mit dem Problem der Symmetrie befassen. Stratton (1906) zeigte seinen Vpn Quadrate, Rechtecke, Kreise und komplexere Figuren wie z.B. die Umriss griechischer Vasen. Er bemerkte, daß wenig Korrespondenz zwischen der Symmetrie von Figuren und Augenbewegungen bestand. Symmetrische Figuren riefen keine symmetrischen Augenbewegungen hervor. Wenn eine Vp beispielsweise auf eine Vase blickt, dann prüft sie eine der symmetrischen Hälften genauer, blickt kurz zur anderen Hälfte, sieht, daß sie identisch ist, und stellt weitere Nachforschungen ein. Paradoxerweise produzieren weniger symmetrische Figuren eher symmetrische Augenbewegungen. Andere Autoren bestätigten diese Beobachtung. Buswell (1935) verwendete u.a. eine Figur, die aus einer Art symmetrischem Histoform bestand, sowie zwei asymmetrische Ver-

sionen dieses Musters. Brandt (1945) bot u.a. ein horizontal und vertikal symmetrisch aufgebautes Punktmuster, das in sich noch weiter untergliedert war. Der linke obere Quadrant zog 41 %, der rechte obere 20 %, der linke untere 25 % und der verbleibende rechte untere Quadrant 14 % der Fixationszeit auf sich. Zusne & Michels (1964) zeichneten die Augenbewegungen von Personen auf, die den Grad der Symmetrie von Zufallsformen einzuschätzen hatten. Die Aufzeichnungen erfolgten, während die Figuren sichtbar waren und nach tachistoskopischer Darbietung; die Muster wurden einzeln oder paarweise geboten. Wie schon bei Stratton folgten die Augenbewegungen nicht der Symmetrie. Ferner zeigte sich, daß die Vpn typischerweise die Umrisse und nicht das Innere der Figuren abtasteten, wobei mitunter der Blick an schwierigen Details hängen blieb. Ähnliche Ergebnisse berichten auch Locher & Nodine (1973). Interessanterweise zeigte sich auch bei unter acht Tage alten Säuglingen, daß sie bei Darbietung eines Dreiecks ihren Blick auf einen der Eckpunkte fixierten, während die Mitte des Dreiecks kaum jemals fixiert wurde (Salapatek & Kessen, 1966). Ein homogenes schwarzes Feld, das zur Kontrolle geboten wurde, rief demgegenüber weit verstreute Blickbewegungen hervor.

Diese Befunde legen den Schluß nahe, daß für einen menschlichen Empfänger alle Information eines soliden Polygons in der Kontur steckt; das Innere ist informationsmäßig leer. Bei symmetrischen Figuren bietet im wesentlichen nur eine der beiden Hälften neue Information. Dies aber zeigt, daß wir fähig sind, unmittelbar Redundanz zu erfassen: Das Innere eines Polygons ist homogen und somit redundant. Die Ränder hingegen müssen abgetastet werden, da aus der Kenntnis einiger weniger Teile meist nicht auf die Anordnung aller anderen geschlossen werden kann. Innerhalb der Kontur sind dann wiederum Wendepunkte am wenigsten vorhersagbar und ziehen deshalb das meiste Interesse auf sich.

Die Fähigkeit zum Erfassen der Regelhaftigkeiten des Aufbaus von Mustern zeigt sich auch in einer Reihe weiterer Untersuchungen. Attneave (1957) variierte die Feinheit der Ursprungsmatrix, die Krümmung, die Symmetrie, die Anzahl der Wendepunkte, den Quotienten aus Perimeter und Fläche (Kompaktheit) und die Winkelvariabilität von Zufallsfiguren und ließ ihre Komplexität einschätzen. Er fand u.a., daß die Winkelvariabilität - sie mißt so etwas wie gute Kontinuation - etwa 7 % der Varianz erklärte und daß symmetrische Muster wesentlich einfacher eingeschätzt wurden als asymmetrische, wenn sie die gleiche absolute Anzahl von Wendepunkten besaßen. Als Hauptquelle der Variation erwies sich die Anzahl der unabhängigen Wendepunkte in der Kontur. Andere Autoren, speziell Arnoult (1960), berichten ähnliche Ergebnisse. Der Einfluß der Anzahl der unabhängigen und damit nicht vorhersagbaren Wendepunkte auf die geschätzte Komplexität von Zufallsfiguren ist ferner etwa durch Untersuchungen von Edelman, Karas, & Cohen (1961), Goldstein (1961) und Day (1967) der Einfluß der Symmetrie u.a. durch Houston et alii (1965) nachgewiesen. Die Bedeutung der Symmetrie erhellen auch die Versuche von Zusne & Michels (1962 a,b), bei denen vier- und fünfseitige Polygone geboten wurden und die Geometrizität, die Regelmäßigkeit und die Vertrautheit der Figuren einzuschätzen waren. Es fand sich u.a., daß bilateral symmetrische Figuren in allen drei Skalen höher eingeschätzt wurden als symmetrische, ferner, daß Figuren mit mehr als nur einer Symmetrie-Achse über den anderen rangierten.

Bear (1973) prüfte die Vorhersagbarkeit einzelner weggelassener Punkte von Fünf-Punkt-Mustern, die sich aus einer 3x3-Matrix herstellen ließen. Er fand, daß Einzelpunkte von guten Mustern allgemein besser vorhersagbar waren als die von armen Mustern. Wenn Punkte aus schlechten Mustern entfernt wurden, wurden vielfach Muster produziert, die besser als die Originalmuster waren.

tachistoskopisches Erkennen von Figuren

Tachistoskopische Befunde sprechen im weiteren Hinfür, daß die Organisation der Einzelmeldungen parallel, d.h. also in allen Teilen gleichzeitig erfolgt; es zeigt sich ebenfalls, daß alle Teile einer Figur gleichzeitig gesehen und erfaßt werden. Die Frage, ob die tachistoskopische Erkennensschwelle von Gestalteigenschaften abhängt, wurde schon von Gestaltpsychologen behandelt. Die Erwartung ging dahin, daß gute Gestalten, speziell der Kreis, die kürzeste Schwelldauer aufweisen (Koffka, 1935, S. 205). Ob dies wirklich der Fall ist, scheint nach neueren Befunden zweifelhaft, zumal eine ganze Reihe von Faktoren die Erkennensschwelle beeinflusst. Zunächst ist zu beachten, daß bei Ja-nein-Antworten einer der Fälle vorliegt, bei denen im Gegensatz zur früher üblichen Zufallsfehler-Korrektur die Anwendung der Signal-Entdeckungs-Theorie angebracht erscheint. Weiter ist zu bedenken, daß verschiedene Figuren im Bereich der Erkennensschwelle dazu neigen, als rund gesehen zu werden (Wilcox, 1932; Syman & Hake, 1954), was den Kreis einseitig bevorzugt. Ferner beeinflusst die Kenntnis des Bereichs der möglichen Stimuli richtige und falsche Nennungen entscheidend (Bitterman & alii, 1954). Hinzu kommt die Schwierigkeit, die Helligkeitsschwelle, die Schwelle, ab der eine irgendeine Form gesehen wird, und die Schwelle, ab der sich ein Vp sicher ist, eine bestimmte Form wahrgenommen zu haben, auseinander zu halten (vergl. Helson & Fehrer, 1932). Verwirrend erweist sich auch das Faktum, daß bei Verwendung verschiedener Erkennbarkeitsmaße vielfach verschiedene Rangordnungen resultieren. So fanden Helson & Fehrer nach dem Kriterium der Anzahl der nötigen Darbietungen den Winkel als beste und das Rechteck als schlechteste von insgesamt sechs Formen, während das Rechteck umgekehrt die geringste Lichtmenge erforderte. Zu bedenken ist schließlich, daß hier auch das Problem des Zusammenhangs zwischen Bekanntheitsgrad und Erkennensschwelle,

das als Worthäufigkeitseffekt vielfach untersucht wurde (u.a. Howes & Solomon, 1951; Solomon & Howes, 1951; Solomon & Postman, 1952, Solomon 1951; Goldiamond & Hawkins, 1958; Postman & Rosenzweig, 1956; Richards 1973 a,b), ins Spiel kommt. Gute Figuren sind einfache Figuren, die entsprechend leichter zu lernen und mithin bekannter sind. Spuren bekannter Figuren werden aber nach den oben genannten Untersuchungen möglicherweise schneller reaktiviert.

Eine Reihe von Arbeiten versucht Formparameter und Erkennensschwelle miteinander in Beziehung zu bringen. Barskii & Guzeva (1962) fanden wie schon Kaneko (1938) eine inverse Beziehung zwischen Komplexität und tachistoskopischen Schwelle. Untersuchungen über den Einfluß der Komplexität einer Figur, die eng mit der Komplexität korreliert, erbrachten teils positive (Casperson, 1950; Bitterman et alii, 1954; Krauskopf et alii, 1954; Engstrand & Moeller, 1962), teils negative (Cleatham 1952; Fox, 1957) und teils zweideutige Ergebnisse (Borg, 1964). Bitterman et alii und Krauskopf et alii wiesen dabei darauf hin, daß die Identifizierungsschwelle auch invers mit der Größe eines kritischen Details, das die betreffende Figur am ehesten von anderen unterscheidet, korreliert.

Das Problem der tachistoskopischen Erkennenszeit wurde neuerdings mittels sogenannter "speeded classification tasks" angegangen. Dabei hat gewöhnlich die Vp durch Knopfdruck zu erkennen zu geben, welches von zwei vorher gezeigten Punktmustern dargeboten wird. Übereinstimmend zeigte sich dabei, daß gute Muster etwas kürzere Reaktionszeiten erfordern (Clement & Varnadoe, 1967; Garner & Sultliff, 1974; Pomerantz 1977). Die Daten von Pomerantz (Exp. 2) lassen dabei wahrscheinlich erscheinen, daß dieser Effekt durch einen Gedächtniseffekt, d.h. durch leichteres Speichern und Reaktivieren zustandekommt.

Ob bessere Figuren rascher wahrgenommen werden, läßt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht schlüssig beantworten. Die Inkonsistenz der Befunde und die geringen Unterschiede, die für verschiedene Formen berichtet werden, legen jedoch nahe, daß (bei hinreichend bekannten Figuren) die Identifizierung in jedem Fall ganzheitlich mit einem Blick erfolgt. Dies ist offensichtlich nur dann möglich, wenn eine Figur in allen ihren Teilen gleichzeitig organisiert wird.

Die Rolle der räumlichen Orientierung

Uttal (1975) fand u.a. auch, daß sich die Entdeckbarkeit von gepunkteten Linien insensitiv in Bezug auf die Orientierung erwies. Dasselbe gilt für Dreiecke und Polygone. Die Organisation des Wahrnehmungsfeldes scheint demnach in alle Richtungen in gleicher Weise zu erfolgen.

Gleichwohl erweist sich die räumliche Orientierung für die nachfolgende Verarbeitung als bedeutsam, wie schon von Gestaltpsychologen betont wurde: Jede wahrgenommene Form ist eine Form, die in Beziehung mit dem räumlichen Rahmen, der phänomenal vertikalen und horizontalen Richtung steht. So fanden Woodring & Alluisi (1966) und French (1953a), daß sich zwei gleichzeitig gebotene identische Formen schwerer unterscheiden lassen, wenn eine in Bezug auf die andere rotiert ist. Nach Befunden von Butler (1964) und Sekuler & Poulihan (1968) scheinen dabei Spiegelbilder, die durch Rechtslinks-Reflexion entstehen, schwieriger zu unterscheiden zu sein, als Spiegelbilder, die durch Oben-unten-Reflexion entstehen. Tyler & Hardy (1977) fanden, daß 3-4-jährige Kinder Buchstabenähnliche Formen bei horizontal-vertikaler Rotation besser unterscheiden als bei Rotation in die Schräglage.

Die Wichtigkeit der Orientierung zeigt sich nicht nur in Unterscheidungs-, sondern auch in Wiedererkennungsexperimenten. Dearborn (1899) bot Serien von Tintenklecksen in zufälliger Raumorientierung. Dabei wurden einige erneut in ihrer ursprünglichen Orientierung geboten, andere um 90, 180 und 270 Grad rotiert. Ferner wurden Rechts-links- und Oben-unten-Reflexionen verwendet. Stimuli in der Original-Orientierung wurden am häufigsten, um 90 oder 270 Grad rotierte, sowie inverse Stimuli am seltensten wiedererkannt. Gibson & Robinson (1935) konnten Dearborns Ergebnisse nur teilweise bestätigen. Sie fanden beträchtliche Unterschiede in Abhängigkeit davon ob die betreffenden Formen normalerweise nur in einer Position (z.B. Länder auf der Landkarte) oder in unterschiedlichen Positionen (Schlüssel, Bücher etc.) gesehen werden. Monoorientierte Objekte werden wesentlich leichter in ihrer normalen, am schwersten jedoch in einer um 180 Grad rotierten Position wiedererkannt. Poliorientierte Objekte werden dagegen in allen Positionen gleichgut identifiziert. Neuere Arbeiten bestätigen die Überlegenheit der normalen Position, wobei näher unterschieden wird, ob eine Figur normal in Bezug auf ihre Umgebung oder normal in Bezug auf die Retina gesehen wird. Oetjen (1915) rotierte die Form, die Kopflage und beide gleichzeitig jeweils um 90 Grad, so daß die Form wieder in der gewohnten Lage auf die Netzhaut projiziert wurde. Nur die dritte Bedingung erbrachte sehr gute Erkennensleistungen, die kaum der Normalleistung (Kopf und Bild gerade) nachstanden. Thoules (1947) ließ seine Vpn. in gebückter Haltung zwischen ihren Beinen durchsehen, so daß also ihr Kopf umgedreht war, und zeigte ihnen ein Bild, das als bärtige Person in einer und als Segler in der umgedrehten Position gesehen werden konnte. Die überwiegende Zahl der Personen sah die objektiv umgedrehte, auf der Netzhaut aber in Normallage abgebildete Figur. Nach diesen Befunden wäre also die retinale Orientierung von primärer Bedeutung. Rock (1956) variierte in einer Serie von Experimenten, bei denen zweideutige Figuren und Sets untereinander ähnlicher

Figuren Verwendung fanden, gleichfalls die retinale Lage und die Raumorientierung einer Figur unabhängig voneinander. Die Ergebnisse zeigen für die zweideutigen Figuren im Gegensatz zu den obigen Befunden eine starke Präferenz für die in bezug auf die Umgebung aufrechte Organisation. Für die sinnlosen Figuren ergab sich, daß die Richtung der Schwerkraft und der visuelle Bezugsrahmen zu einer Sehweise führen, die die Raumorientierung favorisiert, ohne daß deshalb die Orientierung auf der Retina unwirksam wäre. Diese Befunde konnten im wesentlichen durch Rock und Heimer (1957) mit anderen Versuchstechniken bestätigt werden.

Ist der Organisationsmodus angeboren, ererbt oder individuell erworben?

Zwischen "angeboren" und "ererbte" besteht ein kleiner, aber wichtiger Unterschied. Angeboren ist eine Leistung, die ererbt ist und über die bereits ein erfahrungsloser Säugling verfügt. Ererbt ist eine Leistung, die genetisch vorprogrammiert, nicht aber unbedingt bei der Geburt schon vorhanden sein muß.

Von Gestaltpsychologen wird die Möglichkeit, daß es sich bei den Organisationstendenzen um individuelle Erwerbungen handelt, unter Hinweis auf die Menge erfahrungswidriger Gliederungen ausgeschlossen (vergl. Metzger, 1966b, S. 739). Verschiedene ältere und neuere Befunde machen überdies wahrscheinlich, daß eine Gliederung des Wahrnehmungsfeldes in einzelne abgegrenzte Bereiche nach Maßgabe von Qualitätsprüngen nicht nur ererbt, sondern auch angeboren ist. Alapatek & Kessen (1966) fanden bei Blickbeobachtungen an unter acht Tage alten Säuglingen, daß bevorzugt eines der Eckpunkte eines Dreiecks fixiert wurde; dies setzt aber eine

Gliederung des Wahrnehmungsfeldes voraus. Ähnliche Schlüsse lassen auch die Ergebnisse Stechlers et alii (1966) zu. Von Senden (1932) berichtet in seiner Fallsammlung verschiedentlich, daß operierte Blindgeborene zwar Gegenstände als solche nicht visuell erkennen können, jedoch Unterschiede in den Umrissen von Gegenständen sofort wahrnehmen. Eine Unterschiedswahrnehmung setzt jedoch gleichfalls eine Organisation des Wahrnehmungsfeldes voraus. Die Fähigkeit, unterschiedliche Areale zu unterscheiden, war bei in völliger Dunkelheit aufgezogenen Ratten vom ersten Sehen an gegeben (Hebb, 1937a). Zu beachten ist im übrigen, daß die offensichtlich angeborene Organisation im Sehbereich etwas anderes ist, wie das ganzheitliche Erfassen bzw. Wiedererkennen einer Form.

Neben der Fähigkeit zur Organisation des Wahrnehmungsfeldes scheint auch die Fähigkeit zum Erfassen gewisser Relationen, mithin also Ansätze zum Erfassen von Strukturprinzipien schon von Geburt an vorhanden zu sein. Eine in völliger Dunkelheit aufgezogene Ratte, die darauf trainiert wurde, Licht der Intensität 1 zu suchen und sich von der Intensität 2 (doppelte Intensität) fernzuhalten, wählte in einem Testdurchgang, bei dem die Intensitäten 2 und 4 geboten wurden, (wenn überhaupt) die Intensität 2, die sie zu meiden gelernt hatte. Das Tier nahm also ohne Vorerfahrung Relationen wahr (Hebb, 1937b). Lashley & Russel (1934) konnten durch Messen der Absprungkraft von Ratten, die erstmals über unterschiedliche Distanzen springen mußten, nachweisen, daß Tiere ohne vorherige visuelle Erfahrung räumliche Beziehungen erfassen können. Bei jungen Affen ohne Vorerfahrung konnte neben intraretinalem Transfer Größentransfer nachgewiesen werden. Meyers & McCleary (1964) trainierten wahrnehmungsdeprivierte Katzen unter Bedingungen, bei denen sie sich nicht in ihrer Umgebung bewegen mußten. Gleichwohl erlernten sie einfache Unterscheidungen fast so schnell wie normale Tiere. Bower (1967) gelang es, den Gestaltfaktor des guten Verlaufs bei

einem 36 Tage alten Säugling nachzuweisen. Er bot ein gleichseitiges, von einem Balken unterbrochenes Dreieck und verstärkte Saugresponen auf diese Darbietung durch eine 10-Sekunden-Darbietung eines Films. Es zeigte sich, daß die Saugresponen zwar durch die Darbietung ähnlicher Nichtdreiecke, nicht aber durch die Darbietung eines unverdeckten gleichartigen Dreiecks unterdrückt wurden. Das Organisationsprinzip der Nähe erwies sich hingegen als ineffektiv. Setzt man einen - und zwar irgendeinen - Punkt von drei Punkten, von denen zwei näher aneinander gruppiert sind, in Bewegung, so überrascht dies den Säugling - kenntlich an der abrupten Änderung der Saugrate - jeweils in gleicher Weise. Erst wenn Babies schon fast ein Jahr alt sind, überrascht sie die Bewegung eines der nicht beieinanderliegenden Punkte mehr als die des abseits liegenden Punktes. Offensichtlich wird erst jetzt durch die Bewegung eine anschauliche Wahrnehmungseinheit aufgebrochen (Bower, 1978). Der Befund spricht jedoch nicht unbedingt dafür, daß das Organisationsprinzip der Nähe als solches erlernt ist. Babies können aller Wahrscheinlichkeit nach die einzelnen Details eines konsistenten Musters oder einer Punktkonfiguration zunächst nur einzeln und nicht ganzheitlich als Gruppe erfassen (vergl. das folgende Kapitel über die visuelle Erfahrung und das Wiedererkennen). Diese (lernabhängige) Begrenzung der Auffassungskapazität könnte einen an sich wirksamen Gruppierungseffekt kaschieren. Rush (1937) fand jedenfalls in ihrer Studie über entwicklungsbedingte Änderung der Wirksamkeit der Organisationsfaktoren der Nähe, des guten Verlaufs und der Ähnlichkeit keine signifikante Änderung des Faktors der Nähe zwischen 6 - 22 Jahren, was für die Nichterworbenheit dieses Faktors sprechen würde. Ihr Befund entspricht im übrigen dem von Shroff (1928) an Kindern von 6 - 24 Jahren.

Nach diesen Befunden scheint also die Gliederung des Wahrnehmungsfeldes bei Vorliegen von Qualitätssprüngen von Anfang an gegeben. Desgleichen zeigen sich Ansätze zur Erfassung von Relationen und Strukturprinzipien. Die eigentliche Figuralwahrnehmung scheint jedoch möglicherweise noch

eingeschränkt. Piaget & Stettler von Albertini (1954) fanden z.B., daß Kinder bis zum Alter von sechs Jahren noch unfähig waren, Figuren zu erkennen, die in der Form gepunkteter Konturen geboten wurden. Piaget, Maire und Privat (1954) konnten aufzeigen, daß sich die Wirksamkeit der guten Form gegenüber der Müller-Lyer'schen Täuschung mit zunehmendem Alter vergrößert. Andererseits scheint die Formwahrnehmung nicht völlig ausgeschlossen, wie der bereits zitierte Befund von Bower (1967) zeigt. Einen Überblick über die Entwicklung der Formwahrnehmung gibt im übrigen Hershenson (1967).

Zusammenfassung und Folgerungen

Gestaltungspsychologische Demonstrationen und Versuche über das Entdecken maskierter Punktmuster zeigen, daß Invarianzen der Qualität, der Form bzw. Formprinzipien, der Lage und der Änderung auf Seiten der Reizquellen zu anschaulichen Zusammenhangsbildungen und Abgrenzungen führen, die das gesamte Wahrnehmungsfeld im Sinne möglichst großer struktureller Redundanz gliedern. Innerhalb anschaulich zusammenhängender Bereiche oder anschaulicher Gruppen diskreter Einzelgebilde werden alle Teile bzw. separate Teilgebilde in homogener Weise aufgefaßt. Ergänzungen erfolgen stets in Richtung auf ein möglichst homogenes und damit redundantes Wahrnehmungsfeld. Strukturprinzipien werden nach Ergebnissen von Blickbeobachtungen, Schätz- und Ergänzungsversuchen unmittelbar erfaßt. Die Organisation des Wahrnehmungsfeldes erfolgt parallel, d.h. in allen Teilen gleichzeitig. Die räumliche Orientierung von Reizquellen erweist sich für die Organisation als irrelevant; sie geht jedoch in die spätere Verarbeitung mit ein.

Die Organisation des Wahrnehmungsfeldes in abgegrenzte Teilbereiche ist angeboren, desgleichen die Fähigkeiten

zum Erfassen von Relationen und einfachen Formprinzipien. Die Wahrnehmung ganzheitlicher Formen und die Wahrnehmung der Form von Punktkonfigurationen scheint jedoch bei erfahrungslosen Individuen eingeschränkt.

Welche Folgerungen lassen sich daraus ziehen?

Es ist anzunehmen, daß irgendeine zentralnervöse Einrichtung Einzelrezeptormeldungen jeweils gleicher Qualität zu Gruppen zusammenfaßt und die entstehenden Gruppen voneinander abhebt. Wie Beobachtungen an operierten Blindgeborenen, an Säuglingen und an erfahrungslos aufgewachsenen Tieren vermuten lassen, erfolgt diese Zusammenfassung vor jeder weiteren Verarbeitung, insbesondere auch vor jeglicher Speicherung. Im Zusammenhang mit der Zusammenfassung wird die nicht mehr weiter rückführbare Information über die invariante Qualität der Einzelmeldungen (Qualitätseigenschaften) herausgearbeitet. Es ist weiter anzunehmen, daß eine weitere zentralnervöse Einrichtung, die über gewisse angeborene Leistungen verfügt, aber durch Lernen erst zur Funktionsreife gebracht werden muß, Einzelmeldungen oder bereits organisierte Gruppen homogener Einzelmeldungen, die sich unter die selben Prinzipien der räumlichen Anordnung subsumieren lassen, zusammenfaßt. Auch hier ist anzunehmen, daß im Akte der Zusammenfassung die nicht mehr weiter reduzierbare Information über die räumliche Anordnung herausgearbeitet wird. Wie diese zentralnervösen Einrichtungen funktionieren, kann nur vermutet werden. Im abschließenden Kapitel soll hier eine plausible Deutung gewagt werden.

Die biologische Zweckmäßigkeit einer solchen Verarbeitung liegt auf der Hand. Die Tendenz zu einer möglichst einfachen, redundanten Organisation der Einzelmeldungen läßt sich als Mittel begreifen, mit dessen Hilfe anschauliche Zusammenhänge und Trennungen geschaffen werden, die der Gliederung der physischen Welt in abgegrenzte Gegenstände gut gerecht wird. Einzeldinge besitzen normalerweise homogenere Bausteine in homogenerer Anordnung und homogenerer räumlichen

Lage als Umweltausschnitte, die mehrere Dinge umfassen. Ein System, das versucht, Einzelmeldungen im Sinne größtmöglich Ordnung zu organisieren, kommt entsprechend zwangsläufig zu einer "inneren" (anschaulichen) Gliederung, die der "äußere Gliederung entspricht. Gleichzeitig vermag ein solches System wiederkehrende Baumuster als solche zu erfassen und durchgängige Prinzipien der Qualität, Form, Lage und Änderung zu abstrahieren und damit die weitere Verarbeitung zu erleichtern. Insbesondere schafft es die Voraussetzung für eine ökonomische Speicherung wiederkehrender Baumuster, bei der nicht jedes individuelle Ding gesondert gelernt werden muß, sondern durch Anlegen von Lernkategorien für Klassen von Dingen durch einmaliges Lernen von wiederkehrenden, klassentypischen Prinzipien eine wiederholte Speicherung immer wieder derselben Eigenschaften erspart wird.

LERNEN VISUELLER INFORMATION

Wiedererkennen setzt Speicherung früher wahrgenommener Inhalte voraus. Wie erfolgt diese Einspeicherung? Im folgenden wird zunächst die Frage behandelt, was eigentlich gelernt wird, wenn ein visuelles Muster eingeprägt wird. Anschließend wird auf das Problem eingegangen, ob Wahrnehmungsinhalte voll bewußt sein müssen, um der Speicherung zugeführt zu werden. Der dritte Abschnitt befaßt sich schließlich mit quantitativen Aspekten.

Was wird gelernt?

Wenn in der Technik Bilder photographisch aufgezeichnet oder auf Band gespeichert werden, findet eine punktuelle Abbildung statt: Die Helligkeits- und Farbwerte einzelner Lichtquellen werden Punkt für Punkt in ein anderes Medium übersetzt. Wenn ein Mensch oder ein Tier das Aussehen eines Gebildes lernt, findet aller Wahrscheinlichkeit nach eine gänzlich andere Art der Aufzeichnung statt. Die Frage, wie ein visueller Inhalt kodiert wird, wenn er gelernt wird, läßt sich vom psychologischen Standpunkt aus wenigstens von drei Seiten her beantworten: von Seiten der Reproduktionsleistung, von Seiten der Wiedererkennensleistung und von Seiten des Lernaufwandes.

Erinnern und Reproduzieren als Indikator von Lernvorgängen

Einen ersten Aufschluß über Gedächtnisinhalte ergibt die Information, die zu einem späteren Zeitpunkt wie-

dererinnert und im Akt des Reproduzierens nachprüfbar wird. Gelernt wird demnach also, was wiedererinnert und reproduziert wird. Folgt man diesem Indikator, so scheint ein mehr oder weniger komplettes Abbild eines früheren visuellen Inhalts gespeichert zu werden, da Erinnerungen und zeichnerische Reproduktion mitunter geradezu ein photographisch genaues Abbild eines früher erlebten Inhalts liefern können. Bei genauerem Hinsehen fallen allerdings zumindestens beim Reproduzieren einige Besonderheiten auf, die im vorstehend geschilderten Experiment deutlich zutage traten. Zunächst zeigt sich, daß beim Reproduzieren zwar auf das Vorhandensein und die Richtigkeit der räumlichen Relationen der einzelnen reproduzierten Teile, nicht aber unbedingt auf punktuelle Genauigkeit geachtet wird. Zum anderen fällt auf, daß bei der Reproduktion gedankliches Wissen mit einer Rolle spielt. Gezeichnet wird also bis zu einem gewissen Grad das, was der Zeichner über den Linienverlauf weiß, und nicht nur das, was er in seinem Vorstellungsbild vor Augen hat. An beiden Merkmalen wird kenntlich, daß hier nicht eine simple Punkt-zu-Punkt-Aufzeichnung, sondern eine weitergehende Verarbeitung stattgefunden haben muß.

Der Lernaufwand als Indikator von Lernvorgängen

Den zweiten Indikator, den man zur Analyse von Lernvorgängen heranziehen kann, stellt der Lernaufwand dar, der zur vollständigen (oder nach einem beliebigen Kriterium festgesetzten) Reproduzier- oder Erkennbarkeit nötig ist. Gelernt wird danach, was einen Lernaufwand erfordert. Im Anschluß an die früheren Überlegungen über die Abbildung physischer Strukturen in der Wahrnehmung lassen sich dabei zwei Fälle unterscheiden: das Erlernen einer einzelnen, irgenwi-

reformten Farbfläche und das Erlernen eines Arrangements von mehreren bereits bekannten Farbflächen oder übergeordneten komplexeren Gebilden, wie sie etwa die meisten Gegenstände und Personen des alltäglichen Umgangs darstellen. Ein Beispiel für das Erlernen eines einzelnen Musters bietet der vorstehend beschriebene Versuch. Nach introspektiven Berichten erfordert hier ausschließlich das Einprägen des Linienverlaufs, also der Form des filigranartigen Musters Mühe. (Auf die farbliche Qualität des Musters wurde nicht weiter Wert gelegt.) Daß beim Lernen keine punktuelle Abbildung geschaffen, sondern in irgendeiner anderen Weise kodiert wird, zeigt sich in dem einfachen Faktum, daß das Standardmuster unabhängig von seiner Größe und damit von der Zahl der affizierten Netzhautzellen gleich schnell gelernt wird, wie ein Vorversuch ergab.

Ist ein Arrangement von mehreren diskreten Farbflächen oder komplexeren Gebilden zu lernen, die als solche schon bekannt sind, so ist im wesentlichen einzuprägen, welche Elemente wie angeordnet sind. Die hier geforderte Leistung läßt sich bei näherer Betrachtung in Einzelaufgaben aufsplitteln. (Man vergleiche die etwas abweichende Taxonomie, die den Untersuchungen von Mandler & Parker, 1976, und Mandler & Ritchey, 1977, zugrundeliegt.) Zunächst sind Aufgaben denkbar, bei denen die Anordnung ohne Berücksichtigung der Art der verwendeten Elemente zu erlernen ist. Eine solche Aufgabe liegt offensichtlich beim Erlernen von Punktmustern (z.B. French, 1954; Attneave, 1955; Wilton & File, 1977) oder Schachbrettartigen Mustern (z.B. Schnore & Partington, 1967) vor, da hier die musterbildenden Elemente homogen sind und deshalb nicht extra erlernt werden müssen. Weiter sind Aufgaben denkbar, bei denen die räumliche Lage (bzw. zeitliche Abfolge) irrelevant ist, und nur die Art der verwendeten Elemente von Bedeutung ist. Versuche dieser Art liegen etwa in den Experimenten von Nickerson (1965), Shepard (1967), Standing et alii (1970) und Standing (1973) vor, bei denen Serien

bis zu 10 000 Bildern einmal geboten wurden und anschließend wiederzuerkennen waren. Schließlich sind Aufgaben denkbar, bei denen ein bekanntes Set von Elementen bekannten räumlichen Lagen (oder zeitlichen Abfolgen) zuzuordnen sind; lediglich die Zuordnung als solche ist noch nicht bekannt. Ein derartiger Versuch wurde nach Wissen des Autors mit visuellem Material noch nicht durchgeführt. Jedoch dürften keine Zweifel bestehen, daß auch diese Teilaufgabe Lernaufwand erfordert. Man vergleiche z.B. den Aufwand, der zum Erlernen der folgenden beiden Reihen erforderlich wäre:

O + / : O + / : O + / : O + / : O + / : O + / :
 O + / : + / O : + O / : : / + : O + / : / + O O

Im sprachlichen Bereich ist dieser Aufgabentypus durchaus üblich. Man denke an das Erlernen einer Ziffernfolge: Das Elementenset ist hier bekannt, desgleichen die übergreifende Ordnung, der hier in einem zeitlichen Nacheinander besteht. Gelernt werden muß hingegen die Zuordnung der Ziffern zu den einzelnen Positionen.

Der Lernaufwand als Indikator des Einspeicherprozesses gibt somit klaren Aufschluß: Beim Lernen wird strukturelle Information eingespeichert: Information über die Qualität und die Form homogen-farbener Einzelgebilde oder, darauf aufbauend, Information über die Art und die Anordnung solcher elementarer Farbgebilde, in die das Wahrnehmungsfeld anschaulich zerfällt oder, auf der nächsthöheren Organisationsstufe des Lernens, Information über die Art und die Anordnung komplexerer, aus mehreren Farbflächen zusammengesetzter, bereits bekannter Elemente. Es wäre nun denkbar, daß auf jedes der einzelnen spurenbildenden Elemente gleichviel Lernaufwand entfallen würde, da für jedes Element die räumlich-zeitlichen Koordinaten oder die Relationen zu den bereits bestehenden Elementen zu erlernen sind. Demonstrationsbeispiele und experimentelle Fakten sprechen jedoch eine an-

dere Sprache. Es zeigt sich, daß auch das Gedächtnis eventuell vorhandene Invarianzen zu nützen versteht. Der Lernaufwand hängt weniger von der Zahl der vorhandenen visuellen Items, als von der Menge der Unordnung in der Art und der Anordnung dieser Elemente ab. Gelernt werden muß nur die Information, die nicht weiter ableitbar ist. Anders gesagt: Es scheint so zu sein, als ob beim Lernen eines visuellen Musters jeweils das kleinstmögliche Aggregat von Strukturprinzipien erlernt werden muß. Ein Beispiel mag dies verdeutlichen (vergl. auch das obige Beispiel mit den vier Zeichen):



Figur a erfordert (neben der Kennzeichnung der Qualität "schwarz" und der Dicke der Linien, die bei den Vergleichsfiguren konstant gehalten werden) für jeden der Abschnitte eine gesonderte Beschreibung der Orientierung. Die Länge der Einzelabschnitte und die Tatsache, daß die Teilstücke an den Enden miteinander verbunden sind, müßte als wiederkehrendes, redundantes Merkmal nur einmal gelernt werden. Figur b wäre auch für einen Organismus, der noch nicht das Formprinzip "Treppe" kennt, leichter als a zu erlernen, da die einzelnen Abschnitte regelhafter angeordnet sind. Figur c schließlich wäre am schwierigsten zu erlernen, da nicht nur wie bei a unterschiedliche Orientierungen der Abschnitte vorliegen, sondern auch eine gewisse Redundanz der Eckpunkte, die bei einer zusammenhängenden Linie immer für zwei Teilstücke gleichzeitig gelten, entfällt.

Verschiedene experimentelle Belege zeigen, daß strukturelle Redundanz tatsächlich den Lernaufwand reduziert. Fehrer (1935) befaßt sich u.a. mit der Beziehung zwischen der Symmetrie von Figuren und der Lernschwierigkeit. Sie

fand, daß ihre symmetrischen Muster durchschnittlich nur 107 Lerndurchgänge bis zur vollständigen Reproduzierbarkeit gegenüber 167 bei ihren asymmetrischen Figuren erforderten, obwohl sie durchschnittlich aus etwas mehr Teilen bestanden. Fitts et alii (1956) bot asymmetrische Einzelkontur-Figuren, asymmetrische Doppelkontur-Figuren, bei denen eine asymmetrische Grundfigur verdoppelt, aber nicht gespiegelt wurde, und symmetrische Doppelkontur-Figuren, die anschließend aus je acht Alternativen herauszufinden waren. Es zeigte sich, daß sich die Art des Figurentyps nur relativ wenig auf die Erkennenszeit auswirkte (2,15 vs. 2,27 vs. 2,12 Sek.), was zeigt, daß die vorhandene strukturelle Redundanz zumindestens beim Wiedererkennen weitgehend genutzt wurde. Attneave (1955) prüfte die unmittelbare Reproduktion, die verzögerte Reproduktion und das Wiedererkennen symmetrischer Punktmuster. Bei (absolut gesehen) gleicher Anzahl von Punkten erwiesen sich die symmetrischen Muster asymmetrischen in allen Fällen deutlich überlegen, wenn sie auch bei weitem nicht die Werte der ungespiegelten, einzelpunktärmeren Ausgangspunktmuster erreichten. Diese vergleichsweise nur geringe Wirkung der Symmetrie dürfte jedoch darauf zurückzuführen sein, daß der Untersucher Horizontal- und Vertikalreflexionen in einer etwas paradoxen Weise vornahm: Das Gesamtmuster wurde nicht so gespiegelt, daß alle Punkte in der oder den symmetrischen Positionen erschienen, sondern so, daß Randpunkte gleichzeitig die Funktion von Original- und Reflexionspunkten einnahmen, während die restlichen Positionen verdoppelt bzw. vervierfacht wurden. Die Symmetrie war deshalb nicht ohne weiteres zu erkennen. Köhler (1941) konnte an sinnlosen Silben, Zahlen und sinnlosen Strichfiguren aufweisen, daß homogene Paare (z.B. zwei sinnlose Silben) schneller assoziiert werden als heterogene (z.B. eine sinnlose Silbe gepaart mit einer Zahl). Die selbe Erleichterung zeigte sich auch, wenn zwar kategoriell heterogene Paare verwendet, diese aber in homogener versus heterogener Form (Größe, Farbe der Items) geboten wurden. In

Einem abschließenden Experiment wurden schließlich Strichfiguren so angeordnet, daß sie im einen Fall ein regelmäßiges Muster ergaben, im anderen Fall aber keine übergreifende Organisation erlaubten. Bei regelhafter Anordnung wurden die zweiten Paarglieder wesentlich leichter reproduziert. Die Bedeutung der strukturellen Redundanz ist im übrigen nicht nur auf visuelle Muster beschränkt. Katona (1940) befaßt sich in seinem Buch ausführlich mit dem Problem des "meaningful learnings" in verschiedenen Bereichen. So fördert beispielsweise das Entdecken von Strukturprinzipien im Aufbau von Zahlenreihen, geometrischen Figuren usw. das Behalten und den Transfer. Bergius (1960) konnte die Hypothese bestätigen, daß das Lernen einer Reihe von Wahlen zwischen mehreren Alternativen (an einem Wahlgerät mit acht Tasten) erleichtert wird, wenn die Beziehungen zwischen den Alternativen eine regelmäßige oder gesetzmäßige Organisation aufweisen. Im Bereich des sprachlichen Lernens ist die Bedeutung der Organisation (z.B. Zugehörigkeit zu einer Gattung, ähnliches Klangbild etc.) ein geläufiges Phänomen. Schon G. E. Müller (1913, S. 43 f.) wies auf die Schwierigkeit hin, Reihen sinnloser Silben ohne Rhythmus, d.h. also ohne ein Mindestmaß an Strukturierung zu erlernen. In neueren Untersuchungen über das "free recall" wird deutlich, daß Organisation dabei nicht nur ein Faktor ist, der das Lernen erleichtert, sondern auch ein Faktor, der besseren Zugang zu gespeicherter Information gestattet. Einen Überblick hierzu liefert etwa Herriot et alii (1973, Kap. 3).

Unterscheidbarkeit und Transfer beim Wiedererkennen als Indikator von Lernvorgängen

Schließlich können auch noch zwei weitere, eng miteinander verwandte Indikatoren Aufschluß über die Inhalte des Lernens geben. Man kann einerseits untersuchen, welche

Unterscheidungen leicht zu lernen sind und welche Schwierigkeiten machen, und man kann weiter nach Ausbildung solcher unterscheidenden Reaktionen untersuchen, welche weiteren Muster dieselben Reaktionen hervorrufen wie das positive Muster des ursprünglich zu unterscheidenden Paares. Bei Mensch und Tier zeigt sich, daß in weiten Grenzen die absolute Helligkeit, der absolute Farbton, die Größe der retinalen Abbildung und bis zu einem gewissen Grad auch perspektivische Verzerrungen für das Wiedererkennen bedeutungslos sind, Phänomene, die als Farb- und Helligkeitskonstanz (hierzu vor allem: Gelb, 1929) und als Gestalt- und Größenkonstanz (Brunswik, 1944; von Holst, 1957; Gregory, 1966) geläufig sind. Der Ort der Abbildung auf der Netzhaut ist, wie die Alltagserfahrung zeigt, ebenfalls irrelevant, was offensichtlich auch zumindestens für gewisse Tiere gilt (intraokularer Transfer: z.B. Cronly-Dillon et alii, 1966; interokularer Transfer: z.B. Myers & Sperry, 1958). Umgekehrt erweisen sich strukturelle Merkmale als wichtig für die Unterscheidbarkeit von Figuren. Von Legasthenikern ist bekannt, daß sie bevorzugt symmetrische Figuren (z.B. b und d) verwechseln (Schenk-Danzinger, 1968). Die Schwierigkeit der Unterscheidung von Spiegelbildern von Formen ist ganz allgemein bei Kindern ein geläufiges Phänomen (Rudel & Teuber, 1963) und zeigt sich auch bei Tieren (z.B. Mackintosh & Sutherland, 1963; Zeigler & Schmerla, 1966). Solche Konfusionen resultieren offenbar, wenn die gespeicherten Repräsentationen einer Form keine Information über die absolute Rechts-links-Orientierung enthalten.

Strukturelle Eigenschaften erweisen sich auch als entscheidend für den Transfer. Köhler (1918) konnte an Hühnern, Schimpansen und einem dreijährigen Kind aufweisen, daß eine Dressur auf Relationen leichter möglich ist, als auf absolute Wahrnehmungsintensitäten. Einer der Versuche sah zwei Grauf Flächen unterschiedlicher Grautönung vor, von denen die hellere die Gelegenheit zur Futtersuche, die andere aber den Anlaß zur Meidung bot. Im kritischen Transferversuch

wurden nun die Tiere mit der dunkleren negativen Dressurfarbe und einem noch schwärzlicheren Grauton konfrontiert. In der Mehrzahl der Fälle wurden nun die vormals negative Farbe gewählt. In einem der weiteren Versuche ließ sich aus der Handhabung von Stöcken unterschiedlicher Dicke erschließen, daß Affen eher auf Größenrelationen, als auf absolute Größen reagieren. Hebb (1937b) fand vergleichbare Ergebnisse für eine in völliger Dunkelheit aufgezogene Ratten, die Lichtern unterschiedlicher Intensität ausgesetzt wurde. Gullicksen (1932) stellte bei Ratten eine Bevorzugung der Größenrelationen gegenüber den absoluten Größen von Kreisscheiben fest. Tiere transferieren ferner vielfach visuelle Unterscheidungen von ausgefüllten Figuren auf Umriß-Figuren (Sutherland, 1961) - verständlich, wenn man bedenkt, daß die strukturelle Information einer Figur in seiner Kontur steckt. Sutherland & Williams (1969) trainierten Tiere auf die Unterscheidung eines regelmäßig aufgebauten Schachbrettmusters von einem unregelmäßig aufgebauten. In nachfolgenden Transfertests behielten alle regelmäßig aufgebauten Muster (Schachbrettmuster mit größerer Zellenzahl, schachbrettartige Muster mit rautenförmigen oder dreieckartigen Zellen) die Funktion des ursprünglichen regelhaften Musters bei, während sich alle unregelmäßig aufgebauten Testmuster als äquivalent mit dem ursprünglich verwendeten unregelmäßigen Muster erwiesen. Sutherland (1963b) trainierte Tintenfische und Ratten auf die Unterscheidung von Formen, die im Verhältnis von Konturlänge zum Quadrat der Fläche variieren. In nachfolgenden Transferexperimenten konnte die Art des Transfers gut durch die Position der neuen Formen auf dieser Dimension vorhergesagt werden. Buchstaben in ungewöhnlicher Orientierung können zwar richtig erkannt werden (Kolars & Perkins, 1969), jedoch beeinflussen verschiedene Rotationen und Transformationen entscheidend die Lesegeschwindigkeit (Kolars, Eden, & Boyer, 1964). Shepard & Metzler (1971) rotierten schräg orientierte, dreidimensionale Figuren, die aus zusammengefügtten Würfeln bestanden, um

eine vertikale Achse. Die zu ihrer Identifizierung nötige Zeitspanne stieg linear mit dem Rotationswinkel. Tiere zeigen bei rotierten Figuren teilweise Transfer (z.B. Sutherland & Bowmar 1969), teilweise jedoch auch nicht (z.B. Sutherland, 1961: Quadrat bzw. Raute vs. Dreieck). Ganz allgemein besteht eine ungewöhnlich große Unempfindlichkeit gegen die Art der Ausführung einer Figur, solange der prinzipielle Aufbau erhalten bleibt. Wie weit dies der Fall ist, illustriert etwa die Untersuchung von Neisser & Weene (1960), bei der verschiedene handschriftliche A zu erkennen waren. Das vielleicht überzeugendste Beispiel für das Erlernen von Strukturprinzipien liefert der paradoxe Transfer-Effekt, den Krechevsky (1938) berichtet hat. Krechevsky trainierte Ratten auf die Unterscheidung zweier Muster, bei denen im einen Fall kleine Quadrate mit Zwischenräumen geradlinig in vertikaler, im anderen Fall in horizontaler Richtung angeordnet waren (Abb. 1). Säulen und Reihen wurden als positive und negative Übungsfiguren in geeigneter Weise ausbalanciert. Anschließend wurden Transfer-Tests durchgeführt, die die Vorliebe zwischen den positiven Trainingsfiguren und einem Muster mit durchgehenden Streifen in derselben Orientierung zeigen sollten (Abb. 1). Es zeigte sich, daß die Tiere in beiden Gruppen die Streifen gegenüber den ursprünglichen Punktreihen bevorzugten. Dodwell (1965) wiederholte das Experiment, wobei er eine ganze Reihe von Faktoren kontrollierte, die als Alternativerklärungen an Stelle der Annahme eines anomalen Transfers hätte herangezogen werden können. Er konnte nicht nur das ursprüngliche Ergebnis für den positiven Transfer bestätigen, sondern fand ähnlich paradoxe Verhältnisse auch für den negativen Transfer. Nimmt man an, daß die Tiere strukturelle Information lernen, erscheint das Ergebnis jedoch sinnvoll. Die Tiere wurden durch die insgesamt quadratischen Umrisse des Punktfeldes gezwungen, besonders auf die horizontale bzw. vertikale Orientierung der einzelnen Punktreihen zu achten. Diese Orientierung tritt jedoch als Strukturprinzip bei den Streifenmustern anschaulich viel stärker zu Tage. Folglich ergaben sich auch irrtumsfreiere Reaktionen.

Abb. 1: Test- und Trainingsmuster im Transfer-Experiment
von Krechevsky, 1938, S. 503

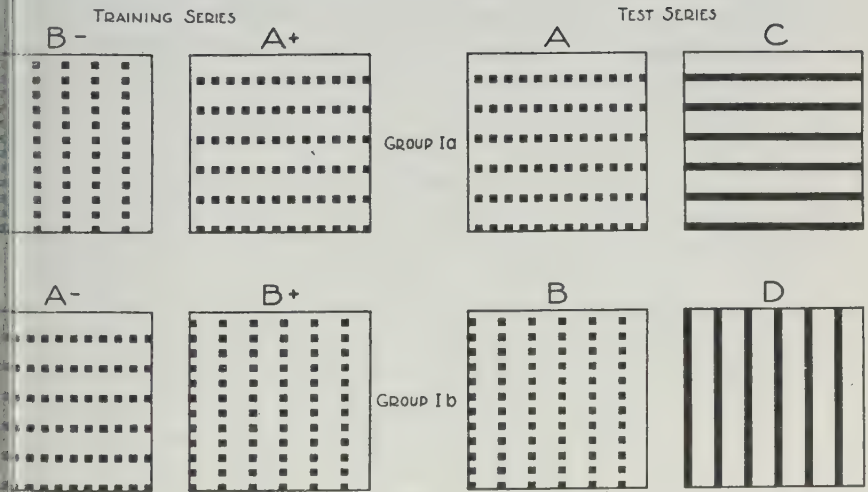


FIG. II

Lernen und Bewußtsein

Bewußtsein bzw. Bewußtheit gehört zu den nicht weiter reduzierbaren Qualitäten psychischer Inhalte. Von den verschiedenen Begriffbestimmungen, die die Eigenschaft "bewußt" in der Vergangenheit erfuhr (vergl. Graumann, 1966a), wird im folgenden ausschließlich der Aspekt der Aufmerksamkeit herangezogen: Bewußt ist, was bemerkt wird. Graumann führt im einzelnen aus, daß diese Begriffsbestimmung je nach Aufmerksamkeitskonzeption noch spezifische Deutung erfahren kann. Hier genügt es festzuhalten, daß Bewußtsein als Dimension verstanden wird, die kontinuierlich abgestufte Ausprägungen zwischen vollständig unbewußt (überhaupt nicht bemerkt) und vollbewußt (im Zentrum der Aufmerksamkeit befindlich) aufweisen kann.

Lernen und Bewußtheit bzw. Aufmerksamkeit scheinen untrennbar zusammenzugehören. Nicht nur führt Lernen zu einer Erweiterung des Umfangs gleichzeitig aufmerksam erfassbarer Details eines komplexen Musters (vergl. das übernächste Kapitel), sondern umgekehrt scheint auch die Aufmerksamkeit eine entscheidende Vorbedingung des Lernens zu sein. Inhalte, die bemerkt werden, werden je nach Dauer der Aufmerksamkeitszuteilung mehr oder weniger vollständig erlernt, während aufmerksamsferne Inhalte nicht behalten werden, auch wenn sie sich durchaus im Empfangsbereich der Sinne befinden.

Die Alltagserfahrung scheint zu bestätigen, daß das, was im eigentlichen Sinn nicht wahrgenommen wird, auch nicht gelernt wird. Zauberkünstler lenken beispielsweise die Aufmerksamkeit ihrer Zuschauer bewußt ab, um vor ihren Augen unbemerkt nötige Handlungen vollbringen zu können; keiner der Zuschauer kann später aus der Erinnerung die entscheidenden Verhaltensweisen reproduzieren. Experimentelle Belege bestätigen derartige Erfahrungen. Neissers (1963, 1964) Vpn

berichteten, daß sie beim Überfliegen der Buchstaben-, Ziffern - und Wortlisten irrelevante Items gar nicht richtig wahrnahmen, während die Zielmuster, auf die die Aufmerksamkeit gerichtet war, herauszuspringen schienen. Ein Wiedererkennens-test, der im Anschluß an das Abtasten von Wortlisten durchgeführt wurde, erbrachte für die Distraktoren Wiedererkennensleistungen auf dem Zufallsniveau (Neisser, 1964). Tendentiell ähnliche Ergebnisse erbrachten Versuche in der Tradition von Külpe (1904), bei denen die Aufmerksamkeit durch eine entsprechende Instruktion selektiv auf eine von verschiedenen Dimensionen tachistoskopisch gebotener Stimuli gerichtet wurde: entsprechende Attribute werden genauer berichtet als inzidentelle. Egeth (1967) kommt in seinem kritischen Überblick zu dem Schluß, daß dieser Effekt zumindestens zum Teil von einer echten Selektivität der Wahrnehmung ihren Ausgang nimmt.

Weitere Aufschlüsse über die Wirkung der Aufmerksamkeitsferne auf das Behalten ergeben Befunde über die gleichzeitige Darbietung mehrerer akustischer Botschaften. Cherry (1953) wies seine Vpn an, einer sprachlichen Nachricht, die sie in einem Ohr geboten bekamen, zuzuhören und sie Wort für Wort nachzusprechen; gleichzeitig wurde über die zweite Muschel des Kopfhörers eine andere Nachricht geboten, die die Personen überhören sollten. Die Personen bemerkten bzw. erinnerten sich nicht, daß im mittleren Teil dieser Nachricht der gesprochene Text von rückwärts abgespult wurde oder daß von der englischen in die deutsche Sprache gewechselt wurde. Hingegen wurde eine zwischenzeitliche Vertauschung des Sprechers durch eine Person des entgegengesetzten Geschlechts und die Darbietung eines bloßen Tones fast immer bzw. immer bemerkt. Moray (1959) wiederholte eine kurze Liste von Wörtern 35mal, während seine Personen auf eine andere Nachricht achteten und sie nachsprachen. Im anschließenden Wiedererkennenstest wurden die irrelevanten Wörter nur auf dem Zufallsniveau erkannt.

Die Rolle der Bewußtheit für das Lernen war Gegenstand eines Symposiums, das 1962 stattfand. Eriksen (1962) berichtet dabei von drei Versuchen, bei denen im Prinzip eine Kontingenz zwischen zwei Reizen oder zwischen einem Reiz und einer spezifischen Verhaltensweise geschaffen wurde. So waren beispielsweise im zweiten Versuch Linien unterschiedlicher Farbe hinsichtlich ihrer Länge zu vergleichen. In den vorangehenden Durchgängen wurde immer eine bestimmte Farbe für die jeweils längere Linie verwendet; in den Testdurchgängen waren hingegen alle Linien gleich lang. Es zeigte sich, daß nur die Personen Größenillusionseffekte zeigten, die den Zusammenhang zwischen Farbe und Länge bemerkt hatten. In den beiden anderen Versuchen, bei denen die Substitution eines Buchstaben in sinnlosen Wörtern als Hinweis für eine bestimmte verbale Reaktion oder ein längerer kalter Luftstrom als Verstärker für bestimmte Gesichts-, Hand- oder Fußbewegungen von Personen, die sich unter saunaartigen Bedingungen aufhalten mußten, verwendet wurden, zeigte sich gleichfalls nur dann ein Lerneffekt, wenn die Kontingenz bemerkt wurde. Versuche von Hilgard (1962) mit einer anderen Technik erbrachten gleichfalls keine Hinweise auf Lernen ohne Bewußtheit, wiewohl in anderen Untersuchungen mitunter positive Effekte berichtet wurden. Bei der von Hilgard verwendeten Technik werden Stimuli, deren Bedeutung den Vpn bekannt ist, unterschiedlich geboten und auf irgendwelche indirekten Effekte (autonome Indikatoren, response bias, Phantasieproduktionen) geachtet. Eventuelle positive Befunde zeigen jedoch nur, daß ein Prozeß mit einer Spur bis zu einem gewissen Grad ohne Mitwirkung des Bewußtseins in Kontakt treten kann, sind jedoch nicht als Beleg für das Einspeichern neuer Information zu werten. Spielberger (1962) untersuchte an Hand verschiedener eigener und fremder Experimente die Rolle der Bewußtheit für das verbale Konditionieren. Es zeigte sich, daß die Zunahme der kritischen Response (Sätze, bei denen "ich" und "wir" verwendet wurden) im Gefolge einer sozialen Verstärkung ("gut", "mmhm") voll davon abhängig war, ob

und wie weit eine Vp eine entsprechende Kontingenz bemerkte. Dulany (1962) bezog die Äußerung korrekter oder korrelierter Hypothesen über das vom Experimentator verstärkte Verhalten auf die Häufigkeit richtiger Responsen und fand gleichfalls keine Evidenz verbalen operanten Konditionierens ohne Bewußtheit. Im Bereich des klassischen Konditionierens legen verschiedene Befunde nahe, daß eine bewußte Wahrnehmung des unkonditionierten Stimulus nötig ist, damit eine Konditionierung erfolgt. Eine bewußte Mitwirkung des neutralen bzw. konditionierten Stimulus scheint nach russischen Befunden dagegen unterbleiben zu können. Die Reaktionen (z.B. die Galvanische Hautreaktion) erfolgen zum Teil ohne begleitende Bewußtheit (Kimble, 1962).

Während die bisher genannten Befunde nur mehr oder weniger indirekte Hinweise auf die Bedeutung der Bewußtheit für das Erlernen speziell visueller Information erbringen, ergeben neuere Untersuchungen direkten Aufschluß. Roch & Schauer (1976) versuchten zunächst (Exp. 1-3), die Aufmerksamkeit ihrer Vpn von vor ihren Augen befindlichen Figuren dadurch abzulenken, daß sie ein Nachbild eines kleinen Dreiecks erzeugten und die Personen anwiesen, nacheinander auf den Fixationspunkt mehrerer Blätter zu schauen und anzugeben, ob sie das Nachbild noch sähen. Die Blätter variierten in den Farben und der Textur; der letzte Bogen enthielt die kritische Figur mit dem Fixationspunkt in der Mitte. Die Ergebnisse zeigen beträchtliche Einbußen der Wiedererkennensleistung gegenüber einer Bedingung, bei der die Aufmerksamkeit auf das kritische Muster selbst gelenkt wurde. In einem weiteren Experiment (Exp. 4) wurde die Aufmerksamkeit mittels einer Analogie zu Versuchen mit gleichzeitiger Darbietung zweier akustischer Nachrichten entwickelten Technik abgelenkt: Die Vpn erblickten durch eine Öffnung zwei Serien halbdurchscheinender Formen, die sich in entgegengesetzter Richtung bewegten und einander überkreuzten. Durch die Instruktion und eine rasche Darbietungsgeschwindigkeit wurde sichergestellt,

daß die Vpn nur auf eine Serie achteten. Für die nichtbeachteten Serien ergaben sich Wiedererkennungswerte, die denen völlig neuen Figuren entsprachen; die Muster waren offensichtlich nicht gelernt worden. Illustrativ ist ferner ein Versuch von Rock et alii (1972), bei dem komplexe Figuren unter dem Vorwand geboten wurden, visuelle Nachbilder prüfen zu wollen. Es zeigte sich, daß die Figuren in ihren groben Umrissen wiedererkannt wurden, während ein Wiedererkennen auf der Basis ihrer konturellen Feinstruktur oder der Zeichnung in ihrem Inneren kaum möglich war. Ein Test, bei dem der Standard- und der Teststimulus im Abstand von nur 0,2 Sekunden aufeinander folgte, legte dabei nahe, daß die Vpn deshalb schlechte Wiedererkennungswerte zeigten, weil sie die Details nicht aufmerksam erfaßt hatten. Signifikante Einbußen des Behaltens fanden schließlich auch Mandler et alii (1977) in zwei Experimenten, bei denen Anordnungen von Spielzeugen geboten wurden. Unter der inzidentellen Bedingung waren dabei die Preise der gebotenen Objekte zu schätzen, während unter der Kontrollbedingung die Vpn unterwiesen wurden, sich die Objekte und ihre Positionen zu merken. In beiden Fällen mußte anschließend die Art der Objekte und ihre Position angegeben werden. Der Versuch läßt andererseits aber auch erkennen, daß ein beträchtliches Maß an Ortsinformation automatisch gelernt wird - möglicherweise aber deshalb, weil der Ort von Gegenständen auch bei der zur Abschätzung nötigen Aufmerksamkeitswanderung relativ bewußt wahrgenommen wird.

Lernen und Willkür

Lernen setzt nach den eben zitierten Befunden ein ziemlich hoher Sicherheit voraus, daß sich Lerninhalte im Bereich der Aufmerksamkeit befinden. Nun ist aus introspektiver Erfahrung bekannt, daß die Aufmerksamkeit willkürlich auf be-

liebige Inhalte gerichtet werden kann. Dies wirft die Frage auf, wie weit die Willkür als Faktor "hinter" der Aufmerksamkeit als Lernfaktor anzusehen ist.

Der Wille erscheint introspektiv als eine vom Ich ausgehende, frei einsetzbare Kraft, die nicht nur die Richtung der Wahrnehmung, der Vorstellung und der Gedanken bestimmt, sondern auch Affekte und Antriebstendenzen hemmen, sowie Handlungen einleiten und unterhalten kann. Ach (1905) bewies experimentell, daß der Wille starke Gegenkräfte, wie z.B. assoziative Hemmungen, Ermüdung, Entlastungsbedürfe usw. überwinden kann und deshalb selbst als Kraft angesehen werden kann. Aus einem Motivationsakt resultiert ein Entschluß, von dem determinierende Tendenzen ausgehen, die von einer Zielvorstellung gesteuert werden und längere Zeit wirksam bleiben. Lewin (1920) weist auf, daß sich der Wille in vielen Bereichen wie ein gewöhnliches Bedürfnis auswirkt und demgemäß selber als eine Art Bedürfnis angesehen werden kann.

Wie weit wirkt sich der Wille - stellvertretend für andere Bedürfnisse - auf das Lernen aus? Nach introspektiver Erfahrung bestimmt der Wille zweifellos über die Steuerung der Aufmerksamkeit Richtung und Reihenfolge des Lernens. Ist der Wille oder ein anderes Bedürfnis aber als *conditio sine qua non* für die Aufmerksamkeit und das Lernen anzusehen? Die Frage kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht schlüssig beantwortet werden. Interesse verdient hier ein Versuch von Held & Hein (1963), insofern er zu zeigen scheint, daß das visuelle Lernen von motorischen bzw. sensumotorischen Willkürimpulsen abhängt. Die Autoren zogen junge Katzen unter speziellen Bedingungen auf: Eine Katze kann jeweils aktiv in einem speziellen Apparat herumlaufen und bewegt dabei eine zweite Katze über eine Bügelvorrichtung mit, die passiv in einem Körbchen sitzt. Es zeigt sich, daß aktive Katzen unter diesen Bedingungen normale Form- und Tiefenwahrnehmung entwickeln, während die passiv aufgezogenen Katzen

nur Gesamthelligkeiten, nicht aber Muster und Tiefe unterscheiden können. Die Formblindheit kann allerdings binnen Tage nach der Befreiung aus der passiven Situation überwunden werden.

Quantitative Aspekte der Spurenbildung

Verschiedene Versuche lassen vermuten, daß pro Zeiteinheit nur eine bestimmte, relativ konstante Menge an Information dauerhaft gespeichert werden kann. Im vorstehend geschilderten Experiment zeigte sich zunächst, daß beim Erlernen eines komplexen Musters die Menge der jeweils gespeicherten (genauer: reproduzierbaren) Information weitgehend linear mit der Dauer der Lernzeit zunimmt. Die geringfügigen Abweichungen von einer "an sich" geradlinigen Kurve lassen sich dabei vor allen Dingen durch eine eventuell unterschiedliche Schwierigkeit der Einzelstrukturen des Musters erklären. Es ist denkbar, daß zunächst leichtere (d.h. informationsärmere) Teile, dafür aber mehr gelernt werden, später dagegen weniger, aber schwierigere, wobei möglicherweise der subjektive Informationsgehalt der zahlenmäßig häufigeren leichteren Items dem der schwierigen entspricht. Weiter zeigte sich, daß die Dauer der Einzelprüfzeiten, also gewissermaßen die Darbietungsgeschwindigkeit keinen sonderlichen Einfluß auf den Anstieg der Lernkurven ausübte. Direkt vergleichbare Studien über die quantitativen Gesetzmäßigkeiten des Erlernens visueller Muster fehlen. Fehrer (1935) variierte u.a. die Darbietungszeit, jedoch nur im tachistoskopischen Bereich. Es sind hier Sonderbedingungen anzunehmen, da iconische Nachbilder und Memorieren in den Darbietungspausen eine beträchtliche Rolle spielen dürften. Neuere und neueste Befunde zeigen zwar klar eine Verbesserung des Wiedererkennens mit der Dauer der Darbietung und der Dauer des Interstimulus-Inter-

valls (Potter & Levy, 1969; Loftus & Bell, 1975; Shaffer & Shiffrin, 1972; Tversky & Sherman, 1975; Weaver, 1975; Hines, 1975), jedoch wurden gleichfalls nur relativ kurze Darbietungszeiten verwendet. Hinzu kommt, daß speziell beim Wiedererkennen mit massiven versteckten Ceiling-Effekten zu rechnen ist: Eine Vp, die einen Stimulus nach 0,5 Sekunden Darbietungsdauer korrekt wiedererkennen kann, kann ihn nach vier Sekunden auch nicht mehr als korrekt wiedererkennen. Die These einer weitgehend konstanten Einspeicherungsrate wird jedoch auch bis zu einem gewissen Grad durch Untersuchungen an akustisch-semantischen Material gestützt (vergl. oben, S. 103ff). In jüngerer Zeit mehren sich die sprachlichen Befunde, die für einen weiten Bereich von Bedingungen eine nahezu ausschließliche Abhängigkeit des Lernfortschritts von der Dauer der Lernzeit zeigen, was zur Aufstellung der "total time hypothesis" geführt hat (u.a. Waugh, 1967; Waugh & Norman, 1965; Bloom, 1974).

Die Konstanz der Einspeicherungsrate ist nicht uneingeschränkt gültig. Eine Reihe von Faktoren wie z.B. die Art des Lernmaterials oder die Art der Übung beeinflussen zumindest bei sprachlichem Material die Höhe der Einspeicherungsrate (im einzelnen hierzu: Bergius, 1964; Baddeley, 1976, Kap. 2). Unter diesen Faktoren sticht einer besonders heraus: die Menge der zu speichernden Information, die sich gewöhnlich in der Länge einer Item-Reihe manifestiert. Der Einfluß einer Reihe von Lernfaktoren, wie z.B. der Bedeutungshaltigkeit des Materials, der Häufigkeit seines Vorkommens, der Wirkung des Kontexts, der Art der Kodierung und der Struktur einer Reihe scheint nur deshalb zu bestehen, weil diese Faktoren durch Nutzung bereits gespeicherter Information oder durch Subsumierbarkeit unter ein Ordnungsprinzip die subjektive Menge der zu speichernden Information ändern. Über den Einfluß der zu speichernden Informationsmenge auf die Einspeicherungsrate liegt eine Vielzahl überwiegend älterer Untersuchungen an sprachlichem Material vor (vergl. oben S. 106).

Die Ergebnisse zeigen nahezu übereinstimmend einen überproportionalen Anstieg der Gesamtlernzeit mit der Stoffmenge. Untersuchungen an visuellem Material geben, soweit vorhanden ein damit übereinstimmendes Bild (vergl. das eigene Experiment, S. 109 ; Fehrer, 1935).

Umfang und Dauer der visuellen Speicherung

Der Umfang des visuellen Behaltens scheint nach Untersuchungen über das Wiedererkennen großer Serien von Bildern nahezu grenzenlos zu sein. Shepard (1967) verglich die Fähigkeit zum Wiedererkennen von Bildern, Wörtern und Sätzen an Hand von 600 Items, die von den Vpn in ihrem eigenen Tempo durchgesehen und zwei Stunden bis 120 Tage nach ihrer Darbietung geprüft wurden. Konfrontiert mit je einem alten und einem neuen Item wurden 88 % richtige Entscheidungen in Bezug auf die Sätze, 90 % in Bezug auf die Wörter und 98 % in Bezug auf die Bilder getroffen. Nickerson (1965) bot 600 sinnvolle Bilder in Art einer continuous-recognition-Aufgabe (Shepard & Teghtsoonian, 1961). Bei 40 interpolierten Bildern zeigte sich eine Wiedererkennungquote von 97 %, bei 200 eine von 87 %. Die Personen wurden nach Intervallen von 1 - 365 Tagen mit 200 neuer und 200 alter Bilder nachgetestet. Die Leistung fiel von 92 % auf 63 % (Nickerson, 1968). Standing et alii (1970) fanden nach durchschnittlich 1,5 Tagen nach der Darbietung von 2560 Farbdias eine Wiedererkennungslleistung von über 90 %. Weder kürzere Darbietungszeit (1 Sek. gegenüber 5 bzw. 10 Sek.) noch Rechts-Links-Vertauschung konnte das Ergebnis sonderlich beeinträchtigen. Standing (1973) bot zwischen 20 und 1000 normale Bilder, besonders interessante Bilder und Wörter. Zusätzliche Gruppen wurden mit 4000 und 10 000 normalen Bildern getestet. Die Ergebnisse zeigen eine durchgängige Überlegenheit des Bildmaterials, wobei insbesondere die interessanten

Bilder in einem nach zwei Tagen erfolgenden Zweifach-Wahltest wiedererkannt wurden. Von 1000 interessanten Bildern wurden 880, von 1000 normalen Bildern 770 und von 10000 normalen Bildern 6600 wiedererkannt. Eine Extrapolierung des Graphen für die interessanten Bilder würde ergeben, daß von einer Million gebotenen Items über 730000 behalten werden könnten.

Untersuchungen über das Vergessen visueller Inhalte liegen nur ganz vereinzelt vor. Außer den drei eben genannten Untersuchungen von Shepard, Nickerson und Standing et alii ist eine Untersuchung von Homolka (1953, zitiert nach Rohracher, 1971, S. 279) zu nennen, in der das Vergessen von Farben, Formen und Zahl-Buchstaben-Kombinationen verglichen wurde. Nach 56 Tagen, der Höchstdauer des geprüften Vergessensintervalls, konnten noch 34 % der Farben gegenüber 22 % der Formen und 20 % der Kombinationen erinnert werden. Der Vergessensverlauf scheint nach diesen Untersuchungen dem vom sprachlichen Material her bekannten Muster einer Exponentialfunktion zu folgen, das bereits von Ebbinghaus (1885) mittels der Ersparnismethode festgestellt wurde. Nach Befunden an überwiegend sprachlichem Material (Überblick: Bahrick, 1964) hängt die Stärke des Behaltensabfalls vom untersuchten Lernvorgang (verbal, motorisch), der Art der Behaltensmessung (Reproduktion, Wiedererkennen) und der Art des Lernmaterials (sinnvoll, sinnlos) ab. Das Phänomen der retrograden Amnesie bei Alterspsychosen läßt vermuten, daß manche visuellen Inhalte zeitlebens behalten werden können.

Zusammenfassung und Folgerungen

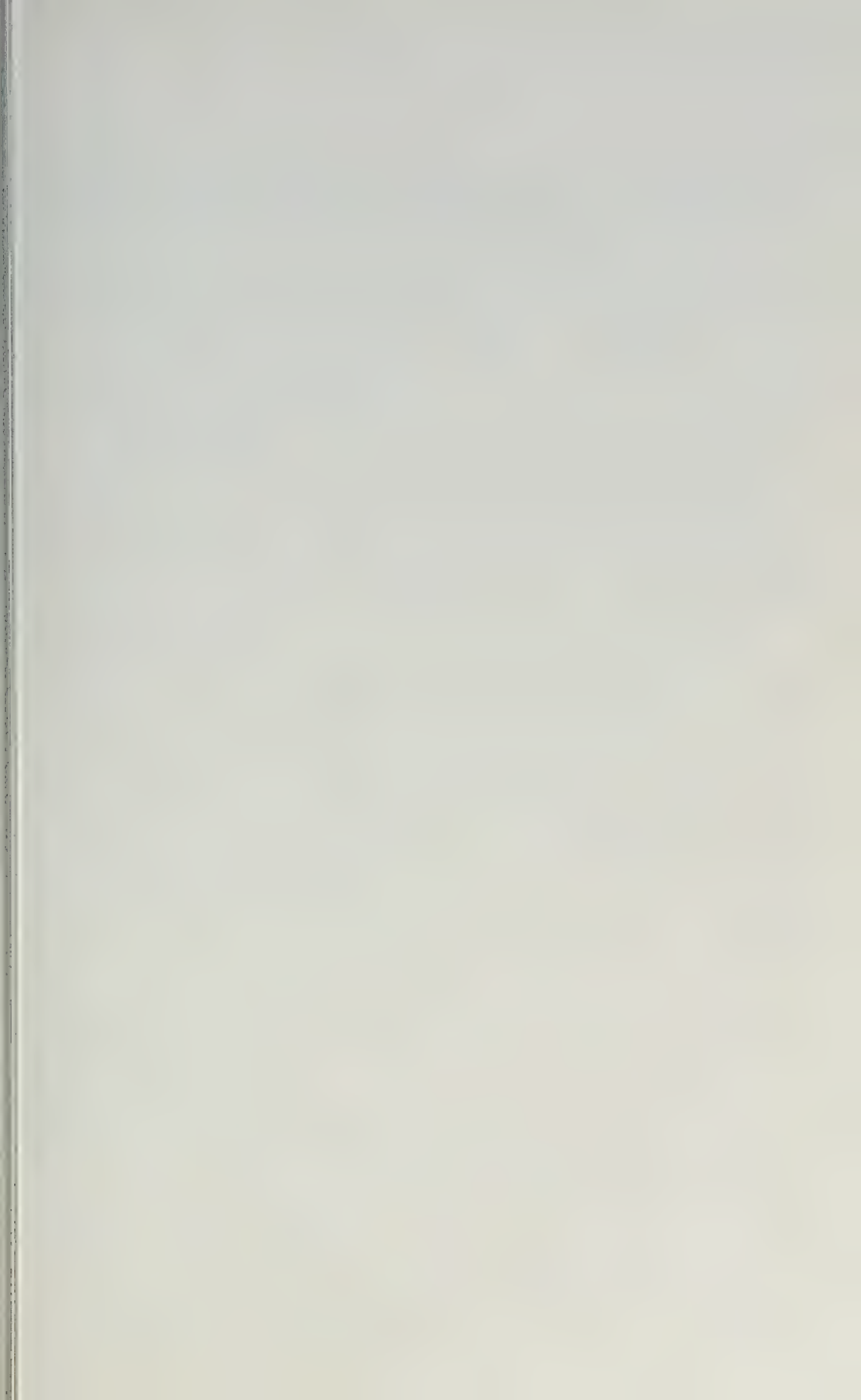
Experimentelle Erfahrungen über den zum Erlernen visueller Muster nötigen Lernaufwand und über die Unterscheidbarkeit bzw. den Transfer beim Wiedererkennen ergeben, daß beim Erlernen visueller Muster strukturelle Information gespeichert wird. Dies bedeutet, daß im einfachsten Fall, beim Vorliegen einer irgendwie geformten Farbfläche, Information über die Farbe und die Form (Kontur) gelernt wird. Sind Farbe und Form der konstituierenden anschaulich abgegrenzten, in sich homogenen Bereiche eines komplexeren Musters als solche schon bekannt, so ist Information über die Art und die Anordnung dieser Bereiche, die sozusagen die Elemente der Anschauung darstellen, zu erlernen. Aus mehreren Teilbereichen zusammengesetzte Gebilde können, wenn sie vollständig erlernt sind, wiederum Bausteine ("Items") für weiteres, übergeordnetes Lernen abgeben. Auch hier ist Information über die Art und die Anordnung dieser übergeordneten Elemente einzuspeichern. Beim Erlernen visueller Muster erweisen sich Strukturprinzipien, d.h. nicht mehr weiter reduzierbare Regeln über die Qualität und die Form anschaulich homogener Gebilde bzw. über die Art und die räumliche Anordnung komplexerer Gebilde als bedeutungsvoll. Die Menge der Unordnung in der Qualität und Form bzw. der Art und der Anordnung bestimmt letztlich den Lernaufwand. Lernen sensorischer Inhalte setzt voraus, daß entsprechende Reizobjekte tatsächlich auch wahrgenommen wurden, d.h. bewußt erlebt wurden. Als einer der Faktoren, die die Richtung der Aufmerksamkeit bestimmen und damit die Auswahl des Lernens treffen, wurde der Wille ausgemacht. Die Einspeicherungsrate ist begrenzt; strukturelle Einzelinformationen müssen sich jeweils eine gewisse Mindestzeit im Bewußtsein befinden, um später wiedererinnert werden zu können. Die Einspeicherungsrate erweist sich für die einzelnen Teile eines Informationssatzes als weitgehend konstant: Die "wahre" Lernkurve besteht wahrscheinlich in einer Geraden. Die Einspeicherungsrate ist ferner weitgehend davon unabhängig, auf

wieviele Einzeldarbietungen die Gesamtlernzeit aufgeteilt wird. Ein Anstieg der Lernstoffmenge führt jedoch zu einem überproportionalen Anstieg der zum Erlernen nötigen Gesamtdarbietungszeit.

Diese Ergebnisse gestatten verschiedene Rückschlüsse auf die zentralnervöse Verarbeitung. Aufmerksame Wahrnehmung hinterläßt eine bleibende Änderung im ZNS, die Spur. Dabei werden auf irgendeine Weise nicht punktuelle Empfindungen, sondern nicht mehr weiter reduzierbare strukturelle Information aufgezeichnet. Das Faktum, daß jeweils bereits bekannte Einheiten den Ausgangspunkt für das Erlernen jeweils komplexerer Muster bilden, läßt für das Spurensystem ein hierarchisches Netz von Beziehungen annehmen, bei denen jede Spur sozusagen "Verweisungen" auf andere untergeordnete Spuren besitzt und gleichzeitig Adresse von Verweisungen übergeordneter, komplexerer Muster ist.

Die Geradlinigkeit des Anstiegs der Lernkurve und die Bedeutungslosigkeit der Dauer der Einzeldarbietungszeiten lassen darauf schließen, daß ein Muster in seinen Einzelheiten streng nacheinander erlernt wird, eine Spur also durch Lernen nicht vertieft wird, wie etwa Wickelgren in den verschiedenen Versionen seiner Theorie annimmt (Norman & Wickegren, 1965, 1969; Wickelgren & Normann, 1966; Wickelgren, 1970, 1972 b, 1975 a,b), sondern sukzessive vervollständigt wird. Dabei muß offenbar die die Wahrnehmung begleitende zentralnervöse Aktivität jeweils eine gewisse Mindestzeit andauern, damit die eine oder andere strukturelle Einzelheit aufgezeichnet wird. Die Tatsache, daß längere Lernstoffe unverhältnismäßig schwerer zu erlernen sind, läßt vermuten, daß Spurenbildungsprozesse die Wahrnehmungsaktivität überdauern und sich gegenseitig behindern.

Es versteht sich, daß ein in dieser Weise organisiertes Gedächtnis biologisch überaus zweckmäßig ist. Dadurch, daß jeweils bereits bekannte Elemente den Ausgangspunkt für weiteres Lernen bilden, ist dieses System denkbar gut geeignet, die in der Natur vorfindbare strukturelle Hierarchie im Aufbau der Dinge abzubilden. Da häufig Wiederkehrendes bevorzugt gelernt wird, sorgt dieses System zudem auch dafür, daß zuerst die wichtigsten Baustein-Typen und Baumuster, d.h. also die klassentypischen strukturellen Eigenschaften der individuellen Dinge zuerst gelernt werden. Auf diese Weise wird relativ rasch eine zwar zunächst noch grobe aber adäquate und prinzipiell beliebig verfeinerbare innere Repräsentation der physischen Welt geschaffen, bei der die wesentlichen Merkmale bevorzugt herausgehoben werden. Da ferner nur die nicht mehr weiter reduzierbare Information gelernt zu werden braucht, wird ein unökonomisches Belegen der Speicherkapazität durch wiederkehrende, überflüssige Information verhindert.



Die Bedeutung struktureller Übereinstimmung zwischen "altem"
und "neuem" Muster für das Wiedererkennen

Früher erfahrene und neu rezipierte Stimuli müssen in irgendeiner Weise übereinstimmen, damit ein Reaktivieren und Wiedererkennen erfolgt. Worin besteht genau die Art der geforderten Übereinstimmung? Wieso lösen in Transfer-Experimenten (s.o.) gewisse Stimuli Verhaltensweisen aus, die auf ein Wiedererkennen schließen lassen, obwohl sie, "photographisch" betrachte, völlig anders sind als die Trainingsstimuli? Gottschaldt (1926, 1929) untersuchte in einer Serie von Experimenten, die sich gegen Grundsätze der Elementenpsychologie wandte, den Einfluß der Erfahrung auf das Wiedererkennen von Figuren. Seine Versuche verdienen im vorliegenden Zusammenhang besonderes Interesse, da sie zu zeigen scheinen, daß gespeicherte Information nicht automatisch durch übereinstimmendes oder ähnliches aktuelles Material abgerufen wird, und daß das empirische Gesetz der häufigen Wiederholung (vergl. Bergius, 1964, 1971) nicht in jedem Fall gültig ist. In Gottschaldt's Versuchen wurden verschiedene sinnlose Figuren b gezeigt, die die a-Figuren als unselbständigen Teil enthielten. Außer der Häufigkeit der Darbietung von a wurde u.a. auch die Stärke der "Gestaltbindung" a in b variiert. Die Häufigkeit der Darbietung von a erwies sich als gänzlich irrelevant für die Häufigkeit, mit der a in b gesehen wurde. Die Stärke der Gestaltbindung schien bis zu einem gewissen Grad die Häufigkeit des Heraussehens von a in b zu beeinflussen. Genauere Analyse zeigte jedoch, daß eine automatische Nachwirkung der a-Einprägung an nachfolgenden b-Bildern auch bei sehr geringem Grad der figuralen Gestaltbindung nur dann aufweisbar war, wenn irgendwelche Umstände die VP im entscheidenden Augenblick die Wahrnehmung von a erwarten ließen. Das Fehlen eines reaktivierenden Einflusses von b auf a hat jedoch nach den bisherigen Überlegungen einen einfachen Grund: b ist zwar in weiten Teilen deckungsgleich mit a, weist jedoch als Ganzes gesehen, völlig andere Strukturprinzipien auf. Das, was Gottschaldt als "Gestaltbindung" bezeichnet, ist

gerade ein Ausdruck dafür, daß andere Strukturprinzipien die verschiedenen Teile von a in b umfassen. Die Ergebnisse Gottschaldts sind demnach als Beleg zu werten, daß die Reaktivierung gespeicherter Information nicht auf einer schablonenhaften Übereinstimmung zweier Muster, sondern auf einer anderen Art der Übereinstimmung beruht.

Gottschaldts Befunde wurden in einer Reihe von Nachuntersuchungen (Braly, 1933; Djang, 1937; Hebb, 1949; Leeper, 1935; Henle, 1942) überprüft. Die Erfahrungswirkungen, die sich dabei vielfach fanden, lassen sich durch jeweils induzierte Erwartungen und durch geringere Gestaltbindung erklären. Neuere Arbeiten beschäftigen sich bevorzugt mit dem Problem, welche Stimulus-Variablen die Schwierigkeit verursachen, eine eingebettete Figur zu erkennen. Gottschaldt selbst (1926) nannte hier eine Fortsetzung der Konturlinien von a in b, eine Teilung von a in b in einer Art und Weise, die nicht der von a entspricht, eine Erweiterung der asymmetrischen Teile von a in symmetrische Teile von b und schließlich eine Einbettung von a in b, so daß ein vorher herausgehobener Teil von a nachher nicht mehr akzentuiert ist. Ghent (1956) bot Kindern Aufgaben mit eingebetteten und überlappenden Figuren; letztere waren wesentlich leichter zu erkennen. Die Autorin kommt zu dem Schluß, daß Figuren besonders dann schwierig sind, wenn Konturen gemeinsam besessen werden. Reed & Angaram (1972) bot verschiedenen Kindergruppen eingebettete Figuren, bei denen eine kleinere Form in einer größeren herauszufinden war. Es zeigte sich, daß die Anzahl der gemeinsamen Konturen, die Komplexität des irrelevanten Teils der größeren Figur und das Ausmaß, in dem die kombinierte Komplexität der Teile die Komplexität des größeren Musters übertraf, signifikant das Auffinden der kleineren Figur erschwerten. Es sind dies durchwegs Faktoren, die eine partielle Strukturierung des größeren Musters im Sinne des kleineren Musters erschweren. Wird aber das größere Muster nach anderen Strukturprinzipien organisiert, ist eine Gemeinsamkeit der strukturellen Information in beiden Mustern nicht mehr gegeben und ein Wiedererkennen des kleineren Musters wird verhindert.

Besteht umgekehrt strukturelle Übereinstimmung, findet ein Wiedererkennen statt. Ein Wiedererkennen ist dabei umso wahrscheinlicher und erfolgt umso schneller, je besser Lern- und Testfiguren in ihrer Struktur übereinstimmen. Leeper konnte in seiner Untersuchung zeigen, daß die Art der Auffassung der zweideutigen wife/mother-in-law-Figur (Boring, 1930) von der Art einer zuvor gebotenen Version dieser Figur abhängt. Dies ist verständlich, da die ambivalente Test-Figur strukturelle Merkmale beider Versionen enthält. Henle zeigte, daß Buchstaben und Ziffern in ihrer normalen Position eher erkannt werden, als in ihrer spiegelbildlichen Form. Kolers et alii (1964) fanden in ihrem bereits erwähnten Versuch, daß eine Rotation einer Zeile um 180 Grad, die zu einer Umkehrung und gleichzeitigen seitlichen Verdrehung der Buchstaben führt, die Lesegeschwindigkeit wesentlich weniger beeinträchtigt, als eine Umkehrung oder Verdrehung der einzelnen Buchstaben allein. Dies ist offensichtlich der Fall, weil bei der ersteren Art der Transformation eine wesentliche strukturelle Eigenheit, die gegenseitige Orientierung der Buchstaben zueinander, erhalten bleibt. Gibson et alii (1962) untersuchten die Wirkung verschiedener Transformationen einfacher Zeichen auf das Wiedererkennen. Bezeichnenderweise riefen perspektivische Transformationen, bei denen die wesentlichen strukturellen Eigenheiten erhalten bleiben, besonders viele Verwechslungen hervor, während die Einführung von Lücken oder die Anbringung von zusätzlichen Teilen, die die Zeichen zu geschlossenen Gebilden veränderten, kaum zu Verwechslungen führten. Die Bedeutung übereinstimmender struktureller Information für das Wiedererkennen erhellt sich im übrigen auch aus den verschiedenen Experimenten über die Unterscheidbarkeit und den Transfer beim Wiedererkennen, die bereits im letzten Kapitel besprochen wurden.

Seriellles oder paralleles Reaktivieren?

Zu den häufig aufgeworfenen Fragen der jüngeren Zeit gehört das Problem, ob Information gleichzeitig oder nacheinander verarbeitet wird. Die Frage ist, wie es scheint, zu allgemein gestellt (vergl. Grill, 1971). Besteht die Verarbeitung im Aufnehmen neuer Information, so ist bei komplexerem Material nur serielle Verarbeitung möglich (vergl. den Abschnitt über die Enge des Bewußtseins, S. 274 ff.) Gilt dies auch für das Reaktivieren bereits gespeicherter Information? Oder wird jeweils die ganze bereits gespeicherte relevante Information gleichzeitig reaktiviert? Es versteht sich dabei, daß prinzipiell nur Information reaktiviert werden kann, die bereits eingespeichert wurde. Erfordert eine Aufgabe mehr Information, als vom Gedächtnis geliefert werden kann - z.B. der Vergleich ähnlicher, nicht genügend bekannter Figuren wie im vorstehend geschilderten Experiment - muß zusätzlich Information aufgenommen werden, was nur nacheinander möglich ist. Die beobachtbare Reaktionszeit zeigt in diesem Fall serielle Verarbeitung an, die jedoch nicht unbedingt der Reaktivierung anzulasten ist.

Experimentellen Aufschluß über die Frage der Parallelität der Verarbeitung mag zunächst die bereits im ersten Kapitel unter dem Blickwinkel der Organisation des Wahrnehmungsfeldes behandelte Frage nach der tachistoskopischen Wiedererkennungzeit geben. Es zeigte sich dort, daß einfache Muster in Bruchteilen von Sekunden wiedererkannt werden können. Befunde anderer Autoren zeigen nun, daß dies auch bei komplexeren Mustern der Fall ist. Wenn die Darbietungszeit lang genug ist, um eine Form klar wahrzunehmen, aber zu kurz, um eine einzelne Abtastbewegung zu machen, ist ein Wiedererkennen oder Skalieren einer bekannten komplexen Form ohne weiteres möglich (Zufallsfiguren: Hayes, 1962; Zusne & Michels, 1964; Buchstaben, Zahlen, sinnlose Silben: Battro & Fraisse, 1961; Tintenkleckse: Mooney, 1959; komplexe Konfigurationen:

Mooney, 1957a,b; 1958; 1960). Dies würde dafür sprechen, daß mehrere Detailinformationen über die betreffenden Muster gleichzeitig reaktiviert werden.

Eine andere Art von Hinweis läßt sich einer neueren Untersuchung von Schulze et alii (1977) entnehmen, in der aus separaten Teilen bestehende Muster verwendet wurden. Muster, die aus je einer Linie, einem Doppelwinkel und einer Kurve zusammengesetzt waren, waren mit einer Ziffer zu assoziieren und anschließend durch Nennen der zugeordneten Ziffer tachistoskopisch zu identifizieren. Die resultierende Konfusionsmatrix wurde im Hinblick auf verschiedene Modelle analysiert, die unabhängige oder abhängige Analyse der in binärer Ausprägung vorliegenden Teile voraussetzten. Es zeigte sich, daß nur bei großer räumlicher Trennung der drei Einzelbestandteile die kritischen Merkmale unabhängig voneinander analysiert, ansonsten aber mehr oder weniger ganzheitlich erfaßt wurden.

Interesse verdient weiter eine Serie von Versuchen von Egeth et alii (1972), bei denen entweder ein Zielmuster und mehrere Distraktoren in kreisförmiger Anordnung geboten wurde und das Zielmuster möglichst schnell und sicher zu finden war oder eine Gleich-Ungleich-Entscheidung bezüglich verschiedener Anordnungen von Mustern zu treffen war, die entweder alle gleich waren oder nur ein abweichendes Element enthielten. Es zeigte sich, daß die Such- bzw. Entscheidungszeit unter einer Vielzahl von Bedingungen entweder völlig oder zumindestens weitgehend unabhängig von der Zahl der gebotenen Stimuli (1-6 bzw. 2-6) war. Ein weiterer Versuch, bei dem bis zu 16 Stimuli gleichzeitig geboten wurden (Egeth et alii, 1973, Exp. 2), erbrachte insbesondere nach mehrtägiger Übung eine fast völlige Unabhängigkeit der Suchzeit von der Anzahl der gebotenen Stimuli. Die Zahl der Fehler stieg

jedoch merklich mit der Menge der Vergleichsmuster. Diese Versuche lassen vermuten, daß - mit gewissen Einschränkungen - Information über mehrere Stimuli gleichzeitig verarbeitet werden kann.

Rückschlüsse auf eine mögliche Parallelität der Verarbeitung mehrerer bereits bekannter Formen liefern schließlich auch Versuche von Shiffrin & Gardner (1972), bei denen Vpn jeweils angeben mußten, welcher von zwei kritischen Buchstaben in einer tachistoskopischen Darbietung von vier Elementen (1 Zielmuster, 3 Distraktoren) vorhanden war. Die kritischen Buchstaben blieben während aller Versuche unverändert. Die Häufigkeit richtiger Entdeckungen blieb unabhängig davon gleich, ob die vier Elemente alle gleichzeitig oder eines nach dem anderen geboten wurden. Ein im Prinzip ähnlich aufgebauter Versuch, bei dem bestimmte Punktmuster als Zielmuster und andere Punktmuster als Distraktoren verwendet wurden, erbrachte im wesentlichen übereinstimmende Ergebnisse (Shiffrin et alii, 1973). Da die Vpn den Ort, an dem der kritische Stimulus innerhalb der Gesamtanordnung erscheinen würde, nicht wissen konnten, legen auch diese Ergebnisse die Annahme nahe, daß alle Stimuli gleichzeitig erfaßt wurden.

Die genannten Befunde stützen die Alltagserfahrung, daß man in einer Art absichtlosen Schau eine Vielfalt von Eindrücken, wie sie etwa eine reizvolle Landschaft bietet, gleichzeitig wiedererkennend wahrnehmen kann. Die Parallelität der Verarbeitung, die sich in diesen Erlebnissen zeigt, ist jedoch nicht uneingeschränkt gültig. Verschiedene Indizien sprechen zunächst dafür, daß sie nur die rein visuellen Aspekte umfaßt, während die mit ihr u.U. verknüpfte semantische Information nur sukzessive ins Bewußtsein treten kann. So zeigt sich in Experimenten über das iconische Behalten, daß nur physische Attribute wie räumliche Lage, Farbe, Größe und Form als Basis des partiellen Reports herangezogen werden können, während sich semantische Information als unge-

eignet erweist (siehe im einzelnen hierzu das Kapitel über das iconische Behalten). Dies läßt darauf schließen, daß die verschiedenen Items nur in ihren sensorischen Eigenschaften gleichzeitig tachistoskopisch wiedererkannt werden.

Die zweite Einschränkung betrifft die rein sensorischen Aspekte des Wiedererkennens selbst. Die Aufmerksamkeit kann selektiv auf eine Einzelheit eingeengt werden, wobei in gewisser Weise irrelevante Inhalte in der Wahrnehmung "abgeblendet" werden. Verschiedene Befunde, die im Kapitel über die sensorische Einstellung referiert werden, sprechen jedoch dafür, daß dieses Abblenden eine gewisse Anstrengung erfordert und häufig genug mißglückt. Auch in Fällen selektiver Einschränkung der Wahrnehmung zeigen bekannte Inhalte eine Tendenz, sich in der Wahrnehmung durchzusetzen.

Zusammenfassung und Folgerungen.

Wird ein Muster geboten, das in seiner Struktur mit einem früher gebotenen Muster ganz oder teilweise übereinstimmt, so wird es wiedererkannt. Wird ein übergreifendes Muster geboten, das ein kleineres einschließt, so wird das kleinere Muster nicht herausgesehen und wiedererkannt, wenn es nach anderen Strukturprinzipien aufgebaut ist, wie das umschließende große Muster. Komplexe Einzelmuster oder aus mehreren gesonderten Einzelteilen bestehende Konfigurationen können bei hinreichender Bekanntheit in allen ihren Einzelheiten gleichzeitig wiedererkannt werden. Wird ein Zielmuster bzw. kritisches Alternativ-Muster zusammen mit mehreren Distraktoren geboten, so kann das Zielmuster weitgehend unbeeinflusst von der Menge der Distraktoren tachistoskopisch identifiziert werden, obwohl sein Ort innerhalb des Arrangements der Darbietung nicht bekannt ist.

Die Tatsache, daß frühere Wahrnehmungsinhalte wieder ins Bewußtsein gerufen werden können, aus dem sie längere Zeit entschwunden waren - und dies, wenn man will, mehrmals - macht nötig, zwei verschiedene Reproduktionsgrundlagen anzunehmen. Es ist zwischen der Spur selbst als bleibender, prinzipiell nicht bewußtseinsfähiger Änderung im ZNS und einer von dieser Spur ausgehenden kurzfristigen neuronalen Aktivität, die man als "mnestische Erregung" bezeichnen könnte, als Grundlage bewußter Erinnerungen, Wiedererkennungseleistungen usw. zu unterscheiden. Es ist anzunehmen, daß beim Wiedererkennen eine neuerliche afferente Erregung mit "ihrer" Spur in Kontakt tritt und sie einerseits vervollständigt, andererseits zur Bildung einer mnestischen Erregung veranlaßt. Die Beobachtung, daß es beim Wiedererkennen auf strukturelle und nicht punktuelle Übereinstimmung zwischen altem und neuem Muster ankommt, zwingt dabei zu der Annahme, daß die neuerliche afferente Erregung zunächst eine ähnliche Verarbeitung erfährt, wie die ursprüngliche Erregung, bevor sie mit deren Spur in Kontakt tritt: eine Verarbeitung, die strukturelle Eigenheiten hervortreten läßt. Das In-Beziehung-Treten mit der vielfältig gespeicherten Information erfolgt dabei parallel und zwar in einem zweifachen Sinn: Es werden alle vorhandenen Spuren gleichzeitig abgefragt und es können mehrere Einzelinformationen gleichzeitig reaktiviert bzw. wiedererkannt werden. Für die erstere Annahme spricht dabei das nicht weiter erwähnte Faktum, daß bei der außerordentlichen Fülle von Spuren ein serielles Abfragen schlechterdings undenkbar ist. Die zweite Annahme wird durch die Tatsache gestützt, daß komplexe Muster oder Arrangements in allen ihren Teilen gleichzeitig wiedererkannt werden können, wobei das Erkennen der Einzelteile weitgehend unabhängig voneinander erfolgt.

SENSORISCHE ERFAHRUNG UND WIEDERERKENNENDES WAHRNEHMEN

Wird eine visuelle Reizquelle erneut wahrgenommen, so wird, wie man annehmen muß, die visuelle Information reaktiviert, die bei der früheren Wahrnehmung des Gegenstandes gespeichert wurde, und das Objekt wird wiedererkannt. Wodurch ist dieses Wiedererkennen gegenüber einer nicht wiedererkennenden Wahrnehmung gekennzeichnet? Anders gefragt: Wie modifiziert sensorische Erfahrung nachfolgendes Wahrnehmen?

Die sensorische Erfahrung kann sich auf sehr vielfältige Weise auf das Wiedererkennen und das es indizierende Verhalten auswirken. Sie kann dazu führen, daß bei Wiedererkennungsexperimenten das innere Konfidenzkriterium d' der Signalentdeckungstheorie geändert wird, so daß Vpn trotz unveränderter mnestischer Information unterschiedliche Urteile abgeben. Sie kann dazu führen, daß bei mehrmaliger tachistoskopischer Darbietung eines unterschwelligen Stimulus dieser sukzessive vollständiger gesehen wird (Haber & Hershenson, 1965). Sie kann dazu führen, daß in Entdeckungsexperimenten die Sehschärfe zunimmt (z.B. bei McFadden, 1940) oder in Untersuchungen über die Unterschiedsschwelle die Feinheit der visuellen Diskriminierung zweier Kreise unterschiedlicher Größe zunimmt (Englund & Lundberg, 1963). Sie kann dazu führen, daß langdauernde systematische Änderung des visuellen Inputs mittels Spiegel- und Prisma-Vorrichtungen oder Brillen mit Farbteilung wieder kompensiert wird (Kohler, 1951). Diese und noch weitere Erfahrungswirkungen werden ausgeklammert. Die folgende Erörterung beschränkt sich ausschließlich auf die Wiedererkennungssituation. Hierbei zeigt sich aber, daß die Wirkung früherer Erfahrung nicht im Auftreten einer undifferenzierten "Bekanntheitsqualität" (Höffding, 1889) zu sehen ist, die schon früher wahrgenommene Inhalte gegenüber neuen auszeichnet. Bei genauerer Betrachtung lassen sich vielmehr

drei parallele Aspekte der Erfahrungswirkung unterscheiden, die sich in ähnlicher Weise bei Individuen, die zunächst noch überhaupt keine visuelle Erfahrung besitzen (operierte Blindgeborene und Neugeborene), wie bei bereits mehr oder weniger erfahrenen normalen Erwachsenen nachweisen lassen. Erfahrung führt erstens dazu, daß zunehmend mehr Einzelheiten eines Musters in lebendiger Weise wahrgenommen werden. Der Umfang des klar bewußten Erfassens nimmt zu; die in tachistoskopischen Experimenten nachzuweisende Ganzheitlichkeit des Erfassens komplexer Muster ist Folge eines langen Lernprozesses. Erfahrung führt zweitens dazu, daß in diese zunehmend klar differenzierte Wahrnehmung mehr und mehr Bestandteile eingehen, die der Erfahrung entstammen, aber über die augenblickliche objektive Reizgrundlage hinausgehen. Dieses "Überschießen" der phänomenalen Wahrnehmung läßt sich nicht nur in Ansätzen bei der Farbwahrnehmung und deutlicher bei der Form- bzw. Raumwahrnehmung innerhalb des visuellen Sinnesgebiets nachweisen, sondern betrifft vor allen Dingen auch die Wahrnehmung intermodaler Qualitäten. Ein Hut sieht "weich" aus. Der Schlag einer Turmuhr erscheint nicht als ein schon öfter erfahrenes, sinnloses Geräusch, sondern eben als Schlag einer Turmuhr. Visuelle, taktile usw. Eindrücke bilden bei erfahrenen Erwachsenen eine gegenständliche Welt und zerfallen nicht wie etwa bei frischoperierten Blindgeborenen in getrennte sinnesspezifische Welten. Erfahrung führt schließlich drittens dazu, daß wir Wahrnehmungsinhalte mit einem mehr oder weniger deutlichem Wissen um ihre Identität bzw. Nichtidentität mit einem früher erfahrenen Inhalt erleben. Dieses Wissen läßt sich als Genauigkeit des Wiedererkennens leicht objektivieren: früher gesehene Reizobjekte werden zunehmend fehlerloser von nur ähnlichen, nichtidentischen Objekten unterschieden.

Die Entwicklung der Wahrnehmung bei operierten Blindgeborenen

Sogenannte "Blind"-Geborene besitzen kurz nach der Operation - abgesehen von meist vagen Helligkeits- und Farberfahrungen - noch keine optischen Engramme. Ihre Wahrnehmungserlebnisse mögen entsprechend Aufschluß über das Sehen ohne vorhergehende visuelle Erfahrung geben. Folgt man von Senden (1932), so sehen entsprechende Patienten zunächst eine "Masse von verschiedenen Helligkeiten", ein "ausgedehntes Feld von Licht, in dem alles verdreht, durcheinander und in Bewegung" erscheint (S. 114). Diese anfänglichen visuellen Eindrücke sind zwar bereits in zusammenhängende Einzelbereiche gegliedert - so können die Operierten Unterschiede des Aussehens verschiedener Gegenstände bei simultaner Darbietung feststellen - die Gestalt als solche wird aber nicht eigentlich wahrgenommen, d.h. klar bewußt erfaßt. Die visuellen Inhalte erscheinen ferner zunächst völlig sinnlos und ohne jegliche Beziehung zur bisherigen Erfahrung. Gegenstände können als solche nur dann erkannt werden, wenn andere Sinne zu Hilfe genommen werden. Eine Raumerfassung ist in Ansätzen vorhanden, insofern die Patienten die visuellen Eindrücke wahrscheinlich vor, nicht an ihren Augen befindlich erleben. Entfernungen werden jedoch falsch eingeschätzt; die Prüfung der Größen-Entfernungsrelation führt jedenfalls zu atypischen Ergebnissen.

Unter dem Einfluß der beginnenden Erfahrung ändert sich diese visuelle Welt in bemerkenswerter Weise. Zunächst fällt auf, daß sich der Umfang der klar bewußt erfaßten Merkmale eines Gegenstands laufend vergrößert. Die Anfänge des klaren Erfassens liegen in einer bewußten Sonderung einzelner Farbflächen und einer Auffassung der Bewegung dieser Flächen. Es wird nicht mehr ein Wechsel von Hell und Dunkel vor den Augen gesehen, sondern es wird erfaßt, daß gleichbleibende Flächen eine Ortsveränderung vollziehen. Allmählich werden Helligkeit und Farbe als solche dauerhaft unterschieden und zu einer ersten Objektbestimmung eingesetzt. So wird etwa eine Katze an ihrer grauen Farbe erkannt, während Formmomente noch keine Rolle spielen. Die Verifizierung solcher Objektbestimmungen erfolgt dabei jeweils durch die anderen Sinne,

insbesondere den Tastsinn. Das klar bewußte Erfassen von Gestalteigenschaften erfolgt erst relativ spät. Die Gestalt ist dabei dem Betrachter zunächst nicht simultan gegenwärtig, sondern muß sukzessive mit dem Blick umfahren werden. So müssen z.B. zur visuellen Unterscheidung von Drei- und Vierecken die Ecken abgezählt werden. Das sukzessive Abwandern der Kontur verkürzt sich im Laufe der Zeit, bis Gestalten ganzheitlich mit einem Blick erfaßt werden können. Die Entwicklung der phänomenalen Wahrnehmung ist demnach durch die Änderung von verwirrenden, undifferenzierten Seheindrücken zur Wahrnehmung von klar gesonderten Inhalten mit zunächst nur einem (Farbe), dann zunehmend mehr (Farbe, Formeigenschaften) klar bewußt erfaßten Merkmalen gekennzeichnet.

Die Wirkung der Erfahrung auf die Wahrnehmung zeigt sich weiter in einer zunehmenden "Interpretation" von Reizeindrücken im Sinne der bisherigen Erfahrung. Von Sendens Berichte lassen hier zwei Bereiche erkennen: die Tiefenwahrnehmung bei zweidimensionalen Abbildungen räumlich angeordneter Gegenstände und die intersensorielle Zuordnung. Die wenigen Fälle, über die der Autor berichtet, lassen zunächst erkennen, daß operierte Blindgeborene keinen Tiefeneindruck bei zweidimensionalen bildlichen Darstellungen gewinnen. Perspektivische Verkleinerungen werden nicht als Erstreckung in die Tiefe wahrgenommen. Hinweise auf die weitere Entwicklung fehlen leider, jedoch ist diese Beobachtung als Indiz dafür zu werten, daß eine entsprechende Tiefenwahrnehmung bei Normalsichtigen durch die Erfahrung bedingt ist. Bezüglich der intersensoriellen Zuordnung fällt auf, daß die visuellen Inhalte zunächst als völlig sinnlos, ohne Bezug zur bisherigen Erfahrung erscheinen. Im Laufe der Zeit erlernen die Patienten jedoch, die visuellen Eindrücke ihrer bisherigen anschaulichen Welt zuzuordnen. Ein visueller Eindruck, bei dem zunächst nur die graue Farbe hervorstach, wird so zur Katze, die miaut, mit der man herumschmusen kann usw.

Hand in Hand mit diesen Änderungen geht eine fortwährende laufende Verbesserung der Genauigkeit des Wiedererkennens und Differenzierens. Die Patienten, die zunächst überhaupt keine Gegenstände erkennen können, identifizieren Gegenstände nach einiger Zeit mit einem gewissen Erfolg an Hand der Farbe. Sie werden dabei jedoch zunächst noch beispielsweise ein Apfel und eine Streichholzschachtel (beide gelb-rot) verwechselt. Mit der Kenntnis von Formmerkmalen nimmt die Differenzierungsleistung zu. Die Kenntnis von Ecken erlaubt z.B. bereits die positive Identifizierung von Drei- und Vierecke gleich der Farbe und verhindert ihre Verwechslung.

Die Berichte lassen keinen Zweifel, daß die fortwährende laufende Differenzierung der Wahrnehmung die Folge eines intensiven weite Strecken aktiven und vielfach mühsamen Lernprozesses ist. Die Patienten identifizieren Objekte an Hand ihrer üblichen Sinne und prägen sich dann vielfach die visuellen Merkmale genau ein. Soweit möglich wird dabei versucht, Erfahrungen aus den bereits bekannten Sinnesgebieten für das neue Gebiet nutzbar zu machen. Sukzessive Tastgestalten werden beispielsweise auf die sukzessive Wahrnehmung von visuellen Gestalten übertragen. Zur besseren Unterscheidbarkeit wird immer vielfach nach charakteristischen Merkmalen geforscht und diese eingeprägt. Eine Tasse läßt sich so beispielsweise am Vorhanden-Sein eines Henkels von einer Schale unterscheiden.

Wiewohl sich die genannten Wirkungen der Erfahrungen auf die Wahrnehmung an Hand der vorgelegten Berichte deutlich rekonstruieren lassen, sind sie nicht als gesichert zu betrachten, da sich gewichtige methodische Einwände gegen von Sendens Fallsammlung erheben lassen. Insbesondere wurden in keinem Fall genau kontrollierte objektive Tests durchgeführt. Seit von Sendens Veröffentlichung sind nur zwei weitere F

le von operierten Früherblindeten bekannt geworden, die zwar genauer untersucht wurden, aber ein völlig widersprüchliches Bild ergeben. Gregory (1974; & Wallace, 1963) beschreibt den Fall eines 52-jährigen Mannes, der im Alter von 10 Monaten sein Sehvermögen verlor. Zum Beginn der objektiven Untersuchungen zeigte die Person bereits erstaunliche Wiedererkennungslleistungen, die sich rasch steigerten. Gut kontrollierte Hinweise liegen insbesondere über die Steigerung der Genauigkeit des Wiedererkennens von Formen vor. Ackroyd et alii (1974) beschreibt den Fall einer jungen Frau, die als Dreijährige als Folge einer Pockenerkrankung ihr Augenlicht verlor und als 27-jährige operiert wurde. Sechs Monate nach der Operation konnte sie zwar mit gewissen Einschränkungen Objekte entdecken und räumlich lokalisieren - Übungseffekte waren hier objektiv nachweisbar - war aber unfähig, in hunderten von Durchgängen die Unterscheidung einfacher visueller Formen (Kreis vs. Quadrat; Dreieck vs. Kreuz) zu erlernen. Beide Personen waren nach ihrer Erblindung nicht völlig blind, sondern konnten zumindestens Helligkeiten wahrnehmen. Gewisse Hinweise in den verfügbaren Krankenhaus- und Schulberichten lassen jedoch denkbar erscheinen, daß Gregorys Patient zeit seiner Blindheit Reste von Form- und Raumwahrnehmung besaß, was bei der Frau offensichtlich nicht der Fall war.

Die Entwicklung der Wahrnehmung bei Säuglingen

Untersuchungen an Säuglingen begegnen nicht nur besonderen methodischen Schwierigkeiten (vergl. Gibson, 1969, Kap. 15), sie sind auch besonders schwer zu interpretieren. Bei aller Vorsicht scheint jedoch eine gewisse Parallelität der Entwicklung zu der operierten Blindgeborener unverkennbar. Untersuchungen der Augenbewegungen von Säuglingen lassen

vermuten, daß schon kurz nach der Geburt die Identität von stationären oder bewegten einfachen Objekten in der Zeit erfaßt wird, solange die Darbietung nicht unterbrochen wird: Neugeborene orientieren die Augen auf einen bestimmten Teil eines dargebotenen Musters und behalten die Blickfixierung teilweise über längere Zeit bei (Stechler et alii, 1966). Horizontal bewegte Objekte werden schon kurz nach der Geburt verfolgt (Wolff & White, 1965). Auf peripher auftauchende Objekte wird etwa mit einem Monat den Blick gerichtet. Wenig später kann auch ein in kreisförmiger Richtung langsam bewegtes Objekt verfolgt werden (White et alii, 1964).

Einige Untersuchungen (Überblick: Hershenson, 1966) liefern Hinweise dafür, daß wie bei operierten Blindgeborenen selbst einfachste Gestalten zunächst noch nicht ganzheitlich gesehen werden. Beispielsweise werden bevorzugt hervorspringende Punkte einer Figur, wie z.B. die Ecke eines Dreiecks fixiert, während eine Mittelbetrachtung selten ist. Dies und die Beobachtung, daß andere exponierte Punkte einer Form ignoriert werden können, läßt vermuten, daß nicht die ganze Form, sondern nur ein oder einige ihrer Teile gleichzeitig gesehen werden (Salapatek & Kessen, 1966). Bower (1966a) bildete bei 8-20 Wochen alten Säuglingen eine Kopfbewegung nach links als konditionierte instrumentelle Response auf einen runden Kreis aus, der ein Kreuz und zwei schwarze Punkte enthielt. Nach dem Training mit diesem Stimulus wurden Generalisierungstests mit den einzelnen Bestandteilen der Konfiguration (Kreis, Kreuz, Punkte) und dem Gesamtmuster durchgeführt. Für 8-16 Wochen alte Säuglinge erwies sich die Summe der Responsestärken auf die Einzelteile als gleichhoch wie die Responsestärke auf das Gesamt-Muster. Bei 20 Wochen alten Säuglingen war jedoch die Responsestärke auf den Gesamtstimulus viel größer als die Summe der Einzelresponsen. Vermutlich wurden nunmehr nicht mehr isolierte Teile, sondern eine ganzheitliche Gestalt mit in gewisser Weise angeordneten Einzelteilen gesehen.

Die Frage, wie weit Säuglinge fehlerfrei identifizieren bzw. differenzieren können, läßt sich relativ un-
zweideutig mit Hilfe von Attrappen-Versuchen beantworten.
Bevorzugtes Untersuchungsobjekt war dabei das menschliche Gesicht. Gibson (1969, S. 348 ff.) gibt eine Zusammenstellung verschiedener Untersuchungen über die Entwicklung der Erkennbarkeit dieses Stimulusobjekts. Es zeigt sich, daß zunächst nicht zwischen groben Attrappen, die nur einfache Konturen enthalten, und realen Gesichtern unterschieden wird. Später werden dann mehr und mehr bestimmte Einzelteile und Relationen wichtig, bis schließlich individuelle Gesichter unterschieden werden. Ahrens (1954) untersuchte beispielsweise die Entwicklung des Physiognomie- und Mimikerkennens. Während zunächst einfache Punkte oder Winkel genügen, um ein Lächeln hervorzurufen, müssen später die Augenpartie, dann die Gesichtsumrisse mit Augen und Nase, dann komplette Gesichter und schließlich bestimmte individuelle Gesichter geboten werden, um dieselbe Reaktion hervorzurufen. Um beispielsweise unterschiedliche Reaktionen auf eine lebensgroße, farbige Photographie und ein reales Gesicht zu bringen, muß ein Kind drei Monate alt sein (Polak et alii, 1964), um männliche und weibliche Gesichter unterscheiden zu können, sechs Monate alt sein (Kagan & Lewis, 1965). Es zeigt sich somit auch bei Säuglingen, daß die Genauigkeit des Wiedererkennens im Laufe des Alters wohl aufgrund zunehmender Erfahrung zunimmt.

Die Frage, wie weit Säuglinge und Kleinkinder unzureichende sensorische Eindrücke auf der Basis ihrer bisherigen Erfahrung "interpretieren", wurde erst vereinzelt erforscht. Experimentelle Ergebnisse liegen etwa bezüglich der Frage vor, welche Stimulus-Variablen die Raumwahrnehmung bei Säuglingen ermöglichen. Neugeborene können bereits, wie sich

aus ihrer Abwehrreaktion bei Näherkommen von Gegenständen nehmen läßt, die Position eines Objekts im dreidimensionalen Raum erfassen (Bower, 1978). Bower (1964) konnte zeigen, daß 10 - 12 Wochen alte Kinder Unterschiede der räumlichen Position auch ohne Änderung der Größe der retinalen Abbildung feststellen können. In einer weiteren Untersuchung (Bower, 1965) stellte er fest, daß bei 40 - 60 Tage alten Kindern dieser Differenzierung nicht einmal zweiäugiges Sehen nötig ist. Die Entfernungsunterscheidung erfolgt vielmehr wahrscheinlich auf der Basis der Parallaxen-Verschiebung bei Kopfbewegungen. Der im vorliegenden Zusammenhang entscheidende Aspekt der Untersuchung betrifft das Ergebnis, daß verschiedene Tiefenzeichen, die einem Erwachsenen ohne weiteres eine Entfernungswahrnehmung ermöglicht hätten, nicht wirksam waren. Experimentell konditionierte bei diesem Versuch eine Gruppe von Säuglingen auf die monokulare Darbietung eines Würfels mit 30 cm Kantenlänge mit einer Kopfbewegung zu antworten, während bei einer anderen Gruppe die Response auf die Darbietung eines vergleichbaren projizierten Würfels auf einem durchscheinenden Schirm ausgebildet wurde. Bei einem anschließenden Transfertest wurde der ersten Gruppe u.a. ein 90x90x90 cm großer Würfel in dreifacher Entfernung geboten, während die zweite Gruppe ebenfalls in Bezug auf den Sehwinkel äquivalenten Projektion in gleicher Entfernung ausgesetzt wurde. Während die erste Gruppe eine Anzahl der Responses bei der ersten Gruppe auf unter ein Drittel des Ausgangswerts fiel, blieb sie bei der zweiten Gruppe etwa konstant. Die zweite Gruppe erwies sich damit als unfähig, verschiedene perspektivische Hinweise zu nutzen, die die Versuchsanordnung bot, so z.B. die relative Größe des gebotenen Objekts auf dem Projektionsschirm, die Dichte der Textur auf dem Holztisch, auf dem sich der Würfel bzw. die Projektionstisch befanden, und das perspektivische Zusammenlaufen der Tischkanten. Drei- bis Fünfjährige scheinen Tiefenzeichen demgegenüber bereits wesentlich besser nützen können. Olson (1975) bot Dias, auf denen Spielzeughäuser

terschiedlicher Größe und gegenseitiger Verdeckung auf weißem oder in die Tiefe liniertem Grund aus Boden- oder Baumperspektive abgebildet waren. Die Verdeckung und die Höhenperspektive gestatteten recht genaue Tiefenschätzungen, während die Größe der retinalen Abbildung relativ wenig Einfluß hatte. Die in die Tiefe verlaufenden Linien des Bodens erbrachte keine signifikante zusätzliche Verbesserung.

Ansätze zu einer Dingkonstanz, die eine ansonsten funktionierende Tiefenwahrnehmung voraussetzen, zeigen sich früh. Wie das Ergebnis der ersten Gruppe im oben referierten Versuch von Bower zeigt, konnten die Säuglinge Unterschiede der Größe und Entfernung trotz Konstanz der Größe der retinalen Abbildung feststellen. Dies bedeutet aber, daß sie bis zu einem gewissen Grad Größenkonstanz besitzen mußten. In einer späteren Versuchsreihe, in der eine ähnliche Konditionierungs- und Transfertechnik benutzt wurde, konnte Bower (1966b) an 50 - 60 Tage alten Säuglingen zeigen, daß eine hölzerne Tafel, die während der Trainingsdurchgänge in einer 45 Grad zur frontalparallelen Fläche gedrehten Lage geboten wurde, in frontalparalleler Darbietung fast genauso viele Responses hervorrief wie in der Originalposition. Eine Tafel in Trapezoid-Form, die frontalparallel geboten wurde (objektiv andere, dagegen gleiche projizierte Form) rief hingegen signifikant weniger Responses hervor.

Die intersensorielle Koordination von Erfahrungen aus verschiedenen Sinnesgebieten, die die Wahrnehmung einer einheitlichen gegenständlichen Welt gestattet, scheint genetisch bis zu einem gewissen Grad schon vorprogrammiert zu sein. Michael Wertheimer (1961) konnte jedenfalls an Babies wenige Augenblicke nach der Geburt feststellen, daß sie bevorzugt nach rechts blickten, wenn ein Geräusch von rechts kam, und nach links, wenn es dort ertönte. Dieses Resultat zeigt nicht nur eine

korrekte Schallquellenortung, sondern in gewisser Weise auch die Erwartung einer sichtbaren Schallquelle. Eine genauere intersensorielle Zuordnung erfolgt wahrscheinlich aber erst später auf der Basis individueller Erfahrung. White et alii (1964) beobachteten in ihrer Längsschnittuntersuchung des visuell geführten Greifens, daß etwa erst mit 2,5 Monaten der Arm (mit noch geschlossener Faust) nach einem visuell erfaßten Objekt ausgestreckt und das Objekt mitunter getroffen wird. Mit 4 - 4,5 Monaten wird ein Objekt erstmals betastet und in grober Weise gegriffen. Ab diesem Zeitpunkt ist somit erstmals visuell-taktilen Lernen möglich. Ab wann hier eine dauerhafte Zuordnung erfolgt, ist schwer auszumachen. Bryant et alii (1972) zeigte ca. acht Monate alten Babies Paare von Objekten, von denen eines einen Einschnitt aufwies, das andere nicht. Anschließend mußten die Babies eines der beiden Objekte berühren, ohne daß sie es sehen konnten. Während der Berührung wurde dafür gesorgt, daß das Objekt ein Geräusch von sich gab. In der dritten Phase des Experiments wurden beide Objekte visuell geboten und registriert, welches der Objekte vom Kind zuerst gewählt wurde. Es zeigte sich, daß überzufällig oft nach dem lärmenden Objekt gegriffen wurde. Die intersensorielle Zuordnung gelang jedoch nur bei Ellipsoid-Paaren, nicht jedoch bei Kuboid-Paaren. Offensichtlich bestand zu diesem Zeitpunkt bereits eine intermodale Zuordnung für das Merkmal "Vorhandensein von Kanten", das die Unterscheidung von völlig runden Ellipsoiden von runden Ellipsoiden mit kantigen Einschnitten gestattete, nicht jedoch die Unterscheidung von Körpern, die von vorneherein Ecken und Kanten aufwiesen. Piaget & Inhelder (1971, S. 40 ff.) fanden, daß Kinder mit 3,5 - 4 Jahren bekannte Objekte (Bleistift, Schlüssel etc.), die hinter einem Schirm zu ertasten waren, erkannten, während geometrische Figuren aus Pappe noch nicht identifiziert wurden. Da die Objekte nicht nur zu benennen, sondern auch aufzuzeichnen oder als sichtbare Dubletten wiederzuerkennen waren, ist klar, daß spätestens zu diesem Zeitpunkt eine intermodale Zuordnung für bekannte Objekte bereits vollzogen ist.

Wahrnehmungslernen bei Erwachsenen

Die Wirkung früherer Erfahrungen auf die Wahrnehmung, die sich bei operierten Blindgeborenen und Neugeborenen nur mit verschiedenen Vorbehalten feststellen läßt, läßt sich besonders gut an Erwachsenen aufzeigen, da hier gute sprachliche Verständigungsmöglichkeiten bestehen. (Begriffsinhalte von Blinden entsprechen verständlicherweise vielfach nicht denen sehender Erwachsener; rein visuelle Begriffe fehlen ganz.) Es lassen sich dieselben Erfahrungswirkungen feststellen, die schon dort auffielen.

Der Umfang des simultanen Auffassens

Auch bei Erwachsenen fällt auf, daß der Umfang des simultanen Auffassens mit der sensorischen Übung zunimmt. In dem im ersten Teil der vorliegenden Arbeit geschilderten Experiment wurde ein Muster geboten, dessen Struktur den Vpn fremd war. Die Vpn empfanden das Muster zunächst als verwirrend, sie konnten die Struktur nur in ihrem groben Charakter ("labyrinthartig"), nicht aber im Detail erfassen und waren gezwungen, die Linien Stück für Stück abzutasten. Im Laufe der Durchgänge verkürzte sich der Abtastvorgang, da zunehmend größere Teile simultan erfaßt (und dabei geprüft) wurden, bis schließlich vereinzelt ganzheitliches Auffassen erreicht wurde. Daß Faktum, daß dabei zunehmend mehr Teile simultan erfaßt wurden, wird durch den Abfall der Identifizierungszeiten objektiv untermauert. Einen ähnlichen Übergang vom abtastenden zum ganzheitlichen Auffassen fand Grill (1971) in einem Versuch, bei dem u.a. komplexe geometrische Figuren simultan geboten wurden und hinsichtlich ihrer Identität zu vergleichen waren. Eine Erweiterung des Umfangs simultaner Auffassung als Folge von Übung zeigt sich auch im sogenannten

"word-apprehension"-Effekt (Woodworth, 1938): Bekannte Wörter von 12-20 Buchstaben Länge können bei einer Expositionszeit von 100 msec korrekt gelesen werden, während bei zufälligen Buchstabenfolgen kaum sieben Elemente erfaßt werden.

Anreicherung der Wahrnehmung

Bei Erwachsenen läßt sich in vielfältiger Weise nachweisen, daß die phänomenale Wahrnehmung Merkmale aufweist, die nicht in der aktuellen Reizgrundlage enthalten sind, aber der bisherigen Wahrnehmung entsprechen. Dies gilt für die Wahrnehmung von visuellen Dingeigenschaften (Farbe, Form) wie für die Wahrnehmung der Anordnung von Dingen im Raum. In letzterer Hinsicht verdient insbesondere die Tiefenwahrnehmung und die Größenwahrnehmung Interesse. Zunächst zur Farbwahrnehmung: Duncker (1939) stellte aus demselben grünen Material zwei Figuren in Form eines Affen und eines Blattes her und beschien sie mit rotem Licht, so daß sie grau erschienen. Die Versuchspersonen blickten zunächst auf eine dieser Figuren und veranlaßten anschließend den Experimentator, die Farbe einer mit weißem Licht beleuchteten Scheibe so lange zu ändern, bis sie dem Zielmuster möglichst gleich war. Anschließend wurde das andere Muster getestet. Die meisten Personen verlangten mehr Grün für das Blatt, gemäß der Erfahrung, daß Blätter grüner sind als Affen. Bruner, Postman, & Rodrigues (1951) boten farbkritische Figuren wie Hummer, Zitrone und Banane neben farbneutralen Kontrollfiguren, die diesen Figuren nur ähnlich waren. Die Stimuli waren grau, wurden jedoch auf einem braunen grünen Hintergrund geboten, so daß sie aufgrund des simultanen Farbkontrastes eine leicht mehrdeutige Farbe in Richtung auf ein bräunliches Orange erhielten. Die Farben mußten bei Duncker mittels eines Farbmischers möglichst genau nachgebildet werden. Die kritischen Figuren erforderten mehr

zifische rote bzw. gelbe Farbe als die Kontrollfiguren. Gegen die beiden genannten Untersuchungen läßt sich kritisch einwenden, daß sie einen Sukzessiv-Vergleich erforderten. Es könnte deshalb sein, daß die Vpn weniger die Farbe wiedergaben, die sie tatsächlich gesehen hatten, als die Farbe, die diese Figuren haben sollten. Diese Kritik läßt sich jedoch nicht gegen den folgenden Versuch von Harper (1953) einwenden. Der Autor bot neben Apfel, Herz und Hummer, die erfahrungsgemäß rot sind, ein Oval, ein Dreieck und ein Ypsilon als Kontrollstimuli. Alle Figuren wurden aus orange-farbigem Papier hergestellt. Diese Gebilde fungierten als Figur mit einem Farbmischer als Grund. Die Vpn mußten angeben, wann die Figur verschwand, wenn die Mischfarbe von Rot auf Orange geändert wurde. Die kritischen Stimuli erforderten mehr Rot als die Kontrollstimuli. Die Tatsache, daß die Farbe von Dingen im Sinne der bisherigen Erfahrung gesehen wird, wird weiter auch durch einen Versuch von Bruner & Postman (1949) gestützt. Die Autoren induzierten bei ihren Vpn die Erwartung, normale Spielkarten zu sehen, zeigten ihnen stattdessen jedoch Karten, bei denen Farbe und Formen nicht übereinstimmten (z.B. schwarzes Herz). Während offensichtlich viele Vpn die Inkongruität nicht bemerkten und normale Karten sahen (z.B. rotes Herz oder schwarzes Kreuz), berichteten einige Vpn von kompromißartigen Wahrnehmungen (z.B. braune oder purpurne Herzen).

Erfahrungswirkungen lassen sich auch bei der Wahrnehmung gegenständlicher Formen nachweisen. Wird auf Bildern mit versteckten Figuren erstmals eine kritische Figur entdeckt, dann kann das Bild von da an nicht mehr in der ursprünglichen Weise gesehen werden (Fernberger, 1950; Carmichael, 1951). Leeper (1935) konnte an der wife/mother-in-law-Figur aufweisen, daß die vorhergehende Darbietung einer modifizierten Version dieser Figur bestimmt, wie die zweideutige Figur nachher wahrgenommen wird. Dasselbe Phänomen wurde an derselben und

anderen Figuren von Epstein & Rock (1960) beobachtet. Bug & Alampay (1961) ließen nach der Darbietung verschiedener bilder die zweideutige rat/man-Figur identifizieren. Die sten Vpn sahen eine Ratte, während Leute ohne spezielles training im allgemeinen den Mann sahen. Bruner & Minturn (zeigten, daß dasselbe visuelle Gebilde je nach Kontext al Buchstabe B oder als Zahl 13 gelesen wurde.

Die anschauliche Wahrnehmung des Raumes als ü greifendem Ort, in dem die ihrerseits räumlichen Gegenstä einen bestimmten Platz einnehmen, läßt gleichfalls die Wi kung der Erfahrung erkennen. Zu nennen ist hier zunächst (1951) Versuch mit dem rotierenden Trapez-Fenster. Das Fe ster ist so proportioniert, daß die Länge der längeren Se immer auf der Retina länger ist als die kürzere Seite, au wenn die kürzere Seite momentan näher ist. Anstelle daß e Trapezfenster zu rotieren scheint, wie es tatsächlich der ist, wird ein rechteckiges Fenster vor- und zurückschwing gesehen. Die phänomenale Wahrnehmung "interpretiert" die Reizfiguration im Sinne der bisherigen Erfahrung. Ähnlich läßt sich bei der monokularen Betrachtung von Ames'schen men beobachten, die objektiv in einer solchen Weise ver- zerrt sind, daß ihre Projektion auf der Netzhaut denen vo normal-kubischen Räumen entspricht. Sie erscheinen subje als rechteckig und sind von objektiv rechteckigen ohne we re Erfahrung nicht zu unterscheiden (siehe Ittelson, 195; Ittelson & Kilpatrick, 1952). Vpn, die durch Ballwurf ode Anzeigen des Umrisses der Rückwand mit einem Stock oder c Beobachtung entsprechender vom Vl ausgeführten Handlungen fahrungen sammeln konnten, änderten ihre Wahrnehmung in l tung auf eine richtige Beurteilung. Bezeichnenderweise wi den nun aber die neuen Erfahrungen an den verzerrten Räu wieder bis zu einem gewissen Grad auf die normal-kubische phänomenal übertragen (Kilpatrick, 1954; 1961; Perrine, siehe auch Weiner, 1956). Zu den Wirkungen der Raumerfah.

auf die Raumwahrnehmung ist auch die jedem geläufige dreidimensionale Wahrnehmung zweidimensionaler Gemälde oder Zeichnungen zu rechnen. Dieses Phänomen tritt besonders deutlich bei Kippfiguren in Art der Kopfermann'schen Würfel in Erscheinung. Wallach et alii (1953) boten ein Drahtgebilde, das stationär zunächst als flach, später in Rotation dagegen als dreidimensional erschien. Bei einer erneuten stationären Darbietung erschien es weiterhin als dreidimensional.

Ein Sonderproblem innerhalb der Raumwahrnehmung bildet die Wahrnehmung der Größe und der Entfernung. Entferntere Dinge werden wie kleinere Dinge auf der Netzhaut kleiner abgebildet; das Auge hat von sich aus keine Möglichkeit zu entscheiden, ob eine bestimmte Abbildungsgröße auf einen kleinen nahen oder einen großen entfernten Gegenstand zurückgeht. Die Wahrnehmung der Entfernung (Tiefe) wird allgemein als nicht weiter reduzierbares Urphänomen (vergl. Metzger, 1975) primär der Querdissipation (hierzu: Drösler, 1966) zugeschrieben, die Wahrnehmung von Dingen bestimmter Größe in bestimmter Entfernung dagegen der Doppelinformation aus Größe des Netzhautbildes und Ausmaß der Querdissipation beim beidäugigen Sehen. Nun ist bekannt, daß auch monokular Tiefe (genauer: Dinge bestimmter Größe in bestimmter Entfernung) wahrgenommen werden kann, was aufgrund der bloßen Größe der retinalen Abbildung unmöglich sein sollte. Diese Leistung ist offensichtlich früherer Erfahrung zuzuschreiben, die nunmehr durch gewisse visuelle Kennzeichen geweckt wird. Prinzipiell lassen sich dabei beidäugige Tiefensignale (z.B. Konvergenz, vergl. Drösler, a.o.O., S. 606 ff.) und einäugige Tiefensignale unterscheiden; letztere werden von Metzger (1966a) weiter in Fernefaktoren (z.B. Verdeckung) und Körperlichkeitsfaktoren (z.B. Verzerrung) unterschieden. Durch die Fernefaktoren werden die Sehdinge in verschiedene anschauliche Abstände vom Beobachter verlegt, während Körperlichkeitsfaktoren den Sehdingen eine gewisse Dicke verleihen. Diese Tiefen-

zeichen traten, so muß man annehmen, regelmäßig im Kontext mit bestimmten primären Tiefenerfahrungen auf und vermögen nun zusammen mit der Information über die retinale Abbildungsgröße entsprechende Größen-Tiefenerfahrungen im Gedächtnis wecken. Diese Erfahrungen gehen in die phänomenale Wahrnehmung ein, so wie dies auch Farb- und Formenerfahrung tun. Da Größe, Entfernung und retinale Größe bzw. Sehwinkel in der Natur - und damit auch in der Erfahrung - in einer bestimmten Relation zueinander stehen (vereinfacht: Sehwinkel = Größe/Entfernung; genauere Geometrie bei Ittelson, 1960, S. 55 ff.) spielt auch keine Rolle, ob die erlernten Hinweise die Entfernung oder die Größe betreffen. Wird bei konstanter retinaler Größe eine Änderung der Größe eines Gegenstandes signalisiert, etwa in dem ein verbaler Hinweis auf die Größe des Gegenstandes gegeben wird oder ein Gegenstand bekannter Größe als Vergleichsmaßstab in der Nachbarschaft eingeführt wird, so müssen sich anschauliche Größe und anschauliche Entfernung dieses Gegenstands ändern. Wird andererseits durch Tiefenreize konstante Entfernung angezeigt und ändert sich gleichzeitig der Sehwinkel, so bleibt die anschauliche Entfernung gleich, die anschauliche Größe ändert sich aber direkt mit dem Sehwinkel. Wird schließlich konstante Größe und eine Änderung des Sehwinkels gemeldet, so bleibt die anschauliche Größe konstant, während sich die anschauliche Entfernung umgekehrt mit dem Sehwinkel ändert. Diese Beziehungen wurden in einer Reihe von Befunden bestätigt (u.a. Peter, 1915; Petermann, 1924; Hochberg & Hochberg, 1952; Hastorf, 1950; Ittelson, 1951 a,b,c; Smith, 1952; Slack, 1956; Epstein, 1962), sind jedoch nicht uneingeschränkt gültig (siehe Ittelson, 1960, S. 59 ff.). Zwei Beispiele mögen genügen. Hastorf (1950) bot denselben Kreis einmal als "Tennisball", ein andermal als "Billardball" unter Bedingungen, die keine Tiefenhinweise enthielten. Wurde die objektive Größe des Reizes (und damit die retinale Größe) konstant gehalten, so ersc

der "Billardball" weiter entfernt als der "Tennisball". Mußten umgekehrt die Vpn die Größe des projizierten Kreises so ändern, daß er in der eben geschätzten Entfernung lokalisiert erschien, so wurde der "Billardball" größer eingeschätzt. Ittelson (1951b) bot in einem Versuch drei "Spielkarten" unterschiedlicher Größe in konstanter Entfernung unter Bedingungen, die gleichfalls keine objektiven Hinweise auf die tatsächliche Entfernung enthielten. Es wurden somit Objekte gleicher bekannter Größe verwendet und gleichzeitig der Sehwinkel variiert. Die Karten erschienen anschaulich gleich groß, wurden aber annähern proportional umso näher lokalisiert, je größer sie objektiv waren.

Eine weitere Erfahrungswirkung sei in diesem Zusammenhang nur kurz angesprochen, da sie über den Rahmen der Arbeit hinausführt. Es zeigen sich nicht nur Einflüsse der Erfahrung auf die Wahrnehmung der Farbe, der Form und der räumlichen Entfernung, es finden sich vielmehr auch gewisse Ergänzungen, die der Erfahrung aus anderen Sinnesgebieten zuzurechnen sind. Zunächst fällt auf, daß wir massive, kompakte Gegenstände sehen, bei denen die Masse durch und durch geht, obwohl wir genau genommen nur Oberflächen mit einer bestimmten Farbverteilung rezipieren können. Weiter fällt auf, daß der anschauliche Raum nicht nur eine dreidimensionale Erstreckung besitzt, sondern in gewisser Weise auch gerichtet ist. Anschaulich ist der Eindruck von oben und unten, rechts und links und vorne und hinten im visuellen Eindruck mitenthalten. Wie Versuche über die Inversion des Netzhautbildes (Oben-unten- und gleichzeitige Rechts-links-Vertauschung, monokular: Stratton, 1896, 1897; binokular: Ewert, 1930. Getrennte Vertikal- und Seitenvertauschung, monokular und binokular: Kohler, 1951, 1953, 1956; siehe auch Erisman at alii, 1957. Seiten- und Tiefenvertauschung, letztere mittels Umkehrung der binokularen Querdisparation: Kohler, 1962. Überblick über

diese und weitere Versuche: Rock, 1966) zeigen, vermittelt das Auge jedoch ursprünglich keine Information über die Oben-Unten- und die Rechts-Links-Orientierung; lediglich die Richtung der Tiefenerstreckung scheint auch durch langwierige Übung nicht modifizierbar. Drittens sehen wir an den verschiedenen raumorientierten Gegenständen mitunter Eigenschaften, die spezifisch für eine andere Modalität sind: Dunkelrote Kirschchen erscheinen süß, ein Felsblock schwer, Samt weich usw.

In diesen Erfahrungen zeigt sich, daß unser Sinnesapparat die Anschauung einer gegenständlichen Welt vermittelt, deren Bestandteile Eigenschaften aus vielen Sinnesgebieten aufweisen. Hinsichtlich dieser Eigenschaften lassen sich im einzelnen supramodale Merkmale, die in mehreren Sinnesgebieten vorkommen, und intramodale Eigenschaften unterscheiden. Zur ersten Gruppe sind Formmerkmale wie z.B. Eckigkeit und Größe oder die Form als Ganzes und Merkmale der Anordnung im Raum zu rechnen. Die zweite Gruppe betrifft Eigenschaften wie Farbe, Wärme und Schwere. Innerhalb der zweiten Gruppe lassen sich weiter Aspekte wie z.B. die Intensität abstrahieren, die wiederum analog in allen Sinnesgebieten vorkommen. Es ist denkbar, daß die intersensorielle Zuordnung für alle diese Bereiche ausschließlich durch Lernen zustandekommt, zumal Kontiguität für die Meldungen in den einzelnen Sinnesbereichen besteht, aber nicht gesichert. Experimente über intermodale Äquivalenz oder intermodalen Transfer (Überblick: Gibson, 1969, S. 220 ff.) vermögen hier nicht weiter zu helfen, da die Frage ihrer Verursachung offen bleibt. Gewisse Aufschlüsse vermögen hier, abgesehen von Untersuchungen an operierten Blindegeborenen und Säuglingen, allenfalls Experimente mit langdauernder Inversion oder Verzerrung des Netzhautbildes (siehe oben; hierzu auch Kohler, 1966) gestatten. Da bei diesen Versuchen in der Regel eine Neuanpassung des visuellen Raumes an den Raum der anderen Sinne erfolgt

und sich bei Entfernung der optischen Transformationsvorrichtungen Nacheffekte in Gegenrichtung zeigten, scheint der Schluß angebracht, daß zumindest die intermodale Koordination der gegenständlichen Form und des übergreifenden Raumes erlernt ist.

Wiedererkennen und Diskriminieren

Eine Fülle von Befunden an Erwachsenen zeigt, daß als Folge sensorischer Erfahrung die Genauigkeit des Wiedererkennens zunimmt. Diese Zunahme der Genauigkeit läßt sich prinzipiell unter zwei Aspekten betrachten. Man kann einerseits ein Standardmuster zunehmend länger erlernen lassen und dann dieses Standardmuster zusammen mit Distraktoren konstanter Ähnlichkeit im Testversuch bieten. Dann zeigt sich, daß als Folge der sensorischen Übung die Anzahl der Verwerfungsfehler (Nichterkennen des Standardmusters als solches) und der Annahmefehler (Nichterkennen der Distraktoren) abnimmt. Unter diesem Aspekt werden also visuelle Objekte, die mit in der Vergangenheit wahrgenommenen Objekten identisch sind oder ihnen völlig gleichen, als solche zunehmend sicherer wiedererkannt und zunehmend seltener mit nur ähnlichen Objekten verwechselt. Man kann aber auch ein Standardmuster unterschiedlich lange einüben lassen und dann dieses Standardmuster im Testdurchgang zusammen mit Distraktoren unterschiedlicher Ähnlichkeit bieten. Hält man nun die Anzahl der Fehler beider Arten konstant (z.B. 0 % Fehler), so nimmt mit dem Ausmaß der sensorischen Übung der Grad der Ähnlichkeit der Distraktoren zu, die noch vom Standardmuster unterschieden werden können. Unter diesem Aspekt werden ähnliche Objekte, die zunächst noch nicht unterschieden werden können, mit zunehmender Übung immer besser differenziert. Die Entwicklung geht hier von der groben zur zunehmend feineren Unterscheidung.

Unter den Experimenten, die eine Verbesserung der Wiedererkennungslleistung unter dem ersten Aspekt zeigen, ist zunächst der im 1. Teil geschilderte eigene Versuch zu nennen. Die Häufigkeit der Annahme- und Verwerfungsfehler nahm im Laufe der aufeinanderfolgenden Durchgänge kräftig ab, obwohl gleichzeitig das Ausmaß der sensorischen Informationsaufnahme - kenntlich an der Prüfzeit - reduziert wurde. Weitere Experimente dieses Typs wurden im 1. Teil bereits referiert (Vanderplas & Garvin, 1959; Elliot et alii, 1973; Bahrick et alii, 1967; Ellis & Feuge, 1966); sie erbrachten durchwegs positive Befunde. Zu nennen sind hier ferner sogenannte Prä-differations-Experimente, bei denen im Prinzip eine Bezeichnung oder eine bestimmte motorische Reaktion für jedes einzelne Muster eines Sets visueller Formen zu lernen ist, bei jedem Muster per Namen oder Knopfdruck identifiziert werden kann. Im Anschluß daran ist für jedes Muster eine neue Response zu lernen. Bei dieser zweiten Lernaufgabe resultieren in der Regel bedeutend weniger Verwechslungsfehler, offensichtlich deshalb, weil die Differenzierung der Formen von der ersten Lernaufgabe auf die zweite übertragen wird. Experimente dieses Typs liegen etwa von E.J. Gibson (1941) und Gagné & Baker (1950) vor.

Zu nennen ist hier ferner eine Gruppe von Experimenten, die sich mit dem sogenannten "Schemalernen" befaßt. Dabei wird angenommen (vergl. Attneave, 1957; Oldfield, 1966; Woodworth, 1938), daß Personen die einzelnen Mitglieder einer Familie von Stimuli durch bevorzugtes Erlernen der gemeinsamen Merkmale (Schema) und Erlernen der spezifischen Abweichungen der einzelnen Mitglieder im Gedächtnis speichern. Die Diskrimination solcher Schemata als Übungsfolge wurde von Evans & Edmonds (1966) und Edmonds et alii (1966) an histogrammartigen Mustern näher untersucht. Im ersten Versuch zeigte sich, daß Vpn im Gefolge von sukzessiven Diskriminationen bei denen die Richtigkeit der jeweiligen Entscheidung mitg

teilt wurde, Mitglieder einer Schema-Familie von Nichtmitgliedern zunehmend besser unterscheiden konnten. Die Unterscheidung gegenüber völlig unterschiedlichen Mustern erwies sich dabei als einfacher als die Unterscheidung gegenüber Mustern, die anderen Schemafamilien angehörten. Im zweiten Experiment wurde nicht ein einzelnes Schema, sondern mehrere Schemata gleichzeitig trainiert, was natürlichen Bedingungen näher kommt. Weiter wurden die Vpn teilweise nicht über die Richtigkeit ihrer Entscheidungen informiert. Es zeigte sich auch hier, daß als Folge des Trainings die verschiedenen Schemata differenziert werden konnten. Die Kenntnis der Richtigkeit der Zuordnung erwies sich als nicht nötig für die Diskriminationsleistung, beeinflusste jedoch die Form des Lerngradienten.

Der zweite Aspekt der Verbesserung der Genauigkeit des Wiedererkennens wird besonders von E.J. Gibson betont und durch eine Fülle von Literaturhinweisen belegt (Gibson, 1953, 1969). Es seien hier nur einige Arbeiten aus dem visuellen Bereich referiert und durch neueste Befunde ergänzt. Zu erwähnen ist hier zunächst der bereits im 1. Teil der vorliegenden Arbeit erwähnte Versuch von Gibson & Gibson (1955), bei dem kringelförmige Stimuli zu diskriminieren waren. Erwachsene bezeichneten in diesem Versuch zunächst durchschnittlich drei Arten von Items als Standardmuster, konnten dann aber nach nur drei Durchgängen den alleinig richtigen Kringeltyp einwandfrei herausfinden. Ältere Kinder (8,5-11 Jahre) konnten zunächst 7,9 Arten von Kringel nicht unterscheiden, fanden aber nach durchschnittlich 4,7 Durchgängen den Standardtyp fehlerfrei heraus. Jüngere Kinder (6-8 Jahre) verwechselten zunächst 13,4 Muster; nur zwei von zehn Kindern erreichten perfektes Wiedererkennen. Gibson & Bergman (1954) untersuchten die Wirkung der Übung auf Über-Grund-Distanz-Schätzungen. Die Experimental-Gruppe, die zwischen Vor- und Nachtest 90 zusätzliche, nicht im Test enthaltene Entfernungen zu schät-

zen hatte, zeigte gegenüber der Kontrollgruppe sowohl ein geringeren konstanten Fehler (d.h. durchgängige Über- oder Unterschätzungen der Entfernungen), als auch geringere variable Fehler (d.h. Schwankungen, die dadurch zustande kamen, daß ein bestimmter Bereich von Entfernungen nicht in konstanter Weise unterschieden wurde). Hanes & Rhoades (1959) wiesen nach, daß die Anzahl der absolut identifizierbarer Farben durch Übung gesteigert werden kann. Ihre Vpn konnten nach fünf Monaten täglichen Trainings 50 Chips unterschiedlicher spektraler Farbtönung und -Sättigung korrekt identifizieren. Zu nennen ist schließlich noch das bereits im 1. genauer referierte Generalisierungsexperiment von Bahrick et alii (1967), bei dem Strichzeichnungen von verschiedenen Gegenständen im Laufe aufeinanderfolgender Durchgänge nur mit zunehmend ähnlicheren Distraktoren verwechselt wurden.

Es versteht sich, daß die Differenzierungsleistung in jedem Fall davon abhängt, daß die distinktiven und nicht die gemeinsamen Merkmale eines Sets von Mustern gelernt werden. Gagné & Gibson (1947) übten mit militärischen Schülern die Unterscheidung von abgebildeten Flugzeugen ein. In einer Gruppe wurde in der Instruktion Wert auf die ganzheitliche Form von Flugzeugen gelegt, während in einer zweiten Gruppe Standardsets distinktiver Merkmale wie "spitz zulaufende Nase", "kurze Nase" usw. betont wurden. Die zweite Gruppe schnitt in einem halbrealistischen Test wesentlich besser ab. Pick (1965; vergl. auch die Nachuntersuchung von Durant & Yussen, 1976) verglich in ihrem bereits erwähnten Versuch die Wirksamkeit des Erlernens unterscheidender Merkmalsdimensionen von buchstabenähnlichen Zeichen mit der Wirksamkeit des Erlernens prototypischer Standardformen. Die Zahl der Verwechslungsfehler war im ersteren Fall geringer. Gibson et alii (1963) stellten eine Liste distinktiver Merkmale Römischer Großbuchstaben auf und testeten sie mittels einer

fusionsmatrix an vierjährigen Kindern. Die Fehlerzahl hing weitgehend von der Zahl der Merkmale ab, die jeweilige Buchstabenpaare gemeinsam hatten. Die Erhebung einer neuen Konfusionsmatrix mit geänderter Technik (Yonas & Gibson, 1967) bestätigte die ursprünglichen Ergebnisse. Trabasso (1963) untersuchte in einer Studie über das Konzeptlernen verschiedene Faktoren, die die Klassifizierung von Blumenzeichnungen in zwei Kategorien erleichterten bzw. erschwerten. Als relevante Dimension wurde meist der Winkel gewählt, den die Blätter zum Stamm einnahmen. Es zeigte sich, daß diese relevante Dimension eher herangezogen und transferiert wurde, wenn sie durch Entfernung (d.h. Konstanz) irrelevanter Merkmale, durch Übertreibung des Winkels und durch ungewöhnliche Einfärbung des Winkels betont wurde. Die Bedeutung der Betonung relevanter Merkmale zeigt sich auch in einer Reihe weiterer Untersuchungen (z.B. North, 1959; House & Zeaman, 1960).

Zusammenfassung und Folgerungen

Untersuchungen über die Wirkung sensorischer Erfahrung auf die Wahrnehmung von operierten Blindgeborenen, Säuglingen und Erwachsenen erbringen übereinstimmende Ergebnisse: Sensorische Übung führt erstens dazu, daß der Umfang des simultanen klar bewußten Erfassens zunimmt. Es werden mehr und mehr Details eines Musters klar erfaßt, bis schließlich ganzheitliches Erfassen sämtlicher Teile möglich ist. Sensorische Erfahrung führt zweitens nicht nur zur klar bewußten Wahrnehmung von Einzelheiten, für die eine aktuelle Reizgrundlage gegeben ist, sondern auch zur klar bewußten Wahrnehmung von Eigenschaften, für die keine Reizgrundlage oder optischen Empfangseinrichtungen vorhanden sind, die aber

der Erfahrung entsprechen. So lassen sich speziell in der Farbwahrnehmung, Formwahrnehmung und Raumwahrnehmung Er-sener Erfahrungseinflüsse aufzeigen. Die Intermodalität Wahrnehmung, die Tatsache, daß wir eine gegenständliche Welt mit Eigenschaften aus verschiedensten Sinnesgebieten und nicht viele getrennte sinnesspezifische Welten wahrnehmen, ist hier gleichfalls aufzuführen. Sensorisches Lernen führt schließlich drittens zu immer besseren Wiedererkenntnissen: Früher wahrgenommene Reizobjekte oder Eigenheiten werden immer sicherer als solche erkannt und zunehmend weniger mit nur ähnlichen verwechselt.

Welche Schlüsse lassen sich daraus ziehen? Zunahme des Umfangs des klar bewußten Erfassens beim Wiedererkennen steht im Einklang mit den bisherigen Annahmen. wurde davon ausgegangen, daß von einem ein- oder vielen Reizmuster alle zugehörigen Informationen gleichzeitig aktiviert wird. Da durch Lernen die Menge der gespeicherten Information zunimmt, ist klar, daß sich der Umfang des zeitigen Erfassens erweitert. Wie aber läßt sich das Zusammenspiel von neu rezipierter Information und gespeicherter Information im einzelnen denken?

Im Gefolge traditioneller Denkweise könnte beispielsweise annehmen, daß sensorische Informationen in separaten Speichern abgelegt, bei Bedarf von dort wieder entnommen und dann zur Modifizierung der Wahrnehmung herangezogen wird. Die Beeinflussung der Wahrnehmung von Seiten eigens vorhandenen Gedächtnisses könnte dann beispielsweise nach technischem Vorbild in einer Überlagerung einer von den Sinnen stammenden Erregung durch eine vom Gedächtnis lieferte Erregung bestehen. So wie zwei Filme oder zwei übereinanderprojiziert werden können, könnte die phänomenale Wahrnehmung durch "Projektion" einer mnestischen Komponente auf ein sensorisches "Bild" entstehen.

Ein alternativer Erklärungsansatz könnte demgegenüber annehmen, daß die sensorische Erregung selbst nicht bewußt wird, jedoch durch Aktivierung von Spuren mnestiche Erregungen hervorruft, die allein bewußt werden. Nach dieser Vorstellung würde das der subjektiven Wahrnehmung zugrundeliegende neuronale Aktivitätsmuster nicht aus einer sensorischen und einer mnesticen Komponente bestehen, sondern wäre mit der mnesticen Erregung identisch. Konsequenterweise würde dies bedeuten, daß die "wahrnehmenden" Zellen zugleich auch irgendwie an der Speicherung beteiligt wären. Nach dieser Vorstellung könnte etwa der Zellverband, dessen Erregung als Wahrnehmung erlebt wird, durch häufig wiederkehrende gleichartige Aktivität dahingehend modifiziert werden, daß entsprechende Aktivitätsmuster zunehmend leichter und stärker produziert werden können.

Wenigstens zwei Fakten sprechen eher für die Richtigkeit der zweiten Annahme. Zunächst fällt auf, daß der Zusammenhang zwischen Lernen und Wahrnehmen sehr eng ist. Klar bewußtes, aufmerksames Wahrnehmen ist Voraussetzung für Lernen, während Lernen umgekehrt die klar bewußte Wahrnehmung der gelernten Einzelheiten ermöglicht. Dieser Zusammenhang läßt sich durch die Annahme einer Art Bahnung eines spezifischen Aktivitätsmusters auf Seiten der "wahrnehmenden" Zellen besser erklären als durch die Annahme eines separaten Speichers, der beim Wiedererkennen durch sensorische Erregungen aktiviert wird, seinerseits dann mnestiche Erregungen produziert, zugleich aber durch sensorische und mnestiche Erregungen gespeist wird. Zum zweiten fällt auf, daß gewisse nicht reizgebundene Wahrnehmungserlebnisse wie z.B. Halluzinationen und Illusionen (vergl. hierzu das Kapitel über sensorische Einstellungen), sowie Träume ununterscheidbar von der reizgebundenen Wahrnehmung sind. Wäre die phänomenale Wahrnehmung aus zwei Komponenten zusammengesetzt, so müßte

der Wegfall der wohl als stärker anzunehmenden sensorischen Komponente auffallen, was nicht der Fall ist. Ist aber die Wahrnehmung an die Erregung der immer gleichen Zellsysteme gebunden, wird die Ununterscheidbarkeit verständlich.

Die Modifizierung der "wahrnehmenden" Zellverbände läßt sich noch näher kennzeichnen: Sie besteht wahrscheinlich in einer Integrierung der Zellaktivität mit der Folge, daß Einzelaktivitäten von Zellen interdependent werden, so daß sie jeweils als Gruppe gemeinsam aktiv sind. Hierfür spricht zunächst das Faktum, daß als Folge langfristigen Lernens visuelle Muster ganzheitlich erfaßt werden können. Dieses ganzheitliche Erfassen legt die Annahme eines ganzheitlichen, in seinen Teilprozessen interagierenden physiologischen Gesamtprozesses nahe. Die Entwicklung von der Wahrnehmung abgegrenzter Farbflecken, deren spezifische Einzelheiten nur sukzessive erfaßt werden können, zum klaren, ganzheitlichen Sehen von Objekten wäre nach dieser Auffassung wie folgt zu verstehen: Bereits bei erfahrungslosen Individuen führt die Aktivität der "wahrnehmenden" Zellen zu Seherlebnissen. Diese ersten Seherlebnisse sind nicht völlig chaotisch, weil Einzelmeldungen gleicher Qualität von vornherein zu Gruppen zusammengefaßt werden. Lernen sorgt nun dafür, daß die Aktivität der perzeptiven Zellen weiter dahingehend geordnet wird, daß die Teilaktivitäten eines wiederkehrenden Aktivitätsmusters zunehmend von einander abhängig werden, bis schließlich der mit der Wahrnehmung eines Musters befaßte Zellverband ganzheitlich, d.h. in allen seinen Teilen gleichsinnig und gleichzeitig reagiert. Für die hier vertretene Annahme spricht weiter auch das Faktum, daß die phänomenale Wahrnehmung vielfältige Merkmale aufweise, die über die momentane Reizgrundlage im Sinne der bisherigen Erfahrung hinausgehen. Dieses Phänomen läßt sich doch nur so verstehen, daß sich die von der sensorischen Erregung ausgehende Aktivierung einer Spur

jeweils auf alle Teile der Spur ausbreitet. Ein Interaktionsverband wäre aber eine Einrichtung, die durch Erregungsausbreitung innerhalb ihrer Grenzen gekennzeichnet ist.

Wie sich auf der Basis einer solchen Theorie die Zunahme der Genauigkeit des Wiedererkennens im einzelnen erklären läßt, wurde im 1. Teil der Arbeit ausführlich aufgezeigt.

DAS MOMENTANE ÜBERDAUERN DER WAHRNEHMUNG

Wahrnehmungserlebnisse hören nicht sofort mit der Beendigung der sensorischen Reizung auf, sondern überdauern noch ganz kurzfristig, wie man leicht feststellen kann, wenn man von der Rückseite her durch den Verschuß einer geöffneten Kamera sieht: auch extrem kurze Belichtungszeiten gestatten ein vergleichsweise langes subjektives Bild. Neisser (1967) spricht hier von einem "iconic memory", andere von einem "sensory store", da ja irgendein physiologisches Substrat dieses Überdauern ermöglichen muß. Beide Bezeichnungen scheinen unglücklich gewählt, da sie einen separaten Speicher implizieren. Das Phänomen läßt sich jedoch wesentlich einfacher und ökonomischer erklären. Im folgenden wird nur auf einige wesentliche Punkte eingegangen. Detailliertere Hinweise finden sich in der Zusammenfassung von Dick (1974).

Allgemeine Charakteristik des iconischen Behaltens

Das iconische Behalten besteht in einem Fortdauern der Wahrnehmung von Reizobjekten, über die augenblicklich keine sensorische Information mehr aufgenommen wird. Dieses Wahrnehmung unterscheidet sich, abgesehen von ihrem Verbleib, subjektiv nicht von einer auf visuellen Reizen beruhenden Wahrnehmung und ist demnach in der Regel als wiederholendes Wahrnehmen anzusehen. Versuche auf diesem Gebiet arbeiten denn auch gewöhnlich mit bekanntem Material. Der Nachweis des iconischen Behaltens erfolgt in der Regel mit der Methode des partiellen Reports. Sperling (1960) bot beispielsweise zwölf Buchstaben in drei untereinanderstehenden Reihen von vier Items und wies durch einen hohen, mittleren oder

tieften Ton im Anschluß an die visuelle Darbietung darauf hin, welche Reihe die Vp berichten sollten. Bei unmittelbar folgender Darbietung des Tones konnten durchschnittlich drei von vier Buchstaben einer Reihe wiedergegeben werden, was bedeutet, daß die Vp mindestens $3 \times 3 = 9$ Items nach Beendigung der Reizung noch gesehen haben mußte. Die neun Items sind aber beträchtlich mehr als die vier bis fünf Items, die sich bei totalem Report wiedergeben lassen. Die zusätzlichen Items gelten als sicheres Indiz für iconisches Behalten, zumal ihre Zahl (totaler Report minus partieller Report) unbeeinflußt von Übungsdurchgängen bleibt (Merluzzi & Johnson, 1974).

Verschiedene Befunde sprechen dafür, daß das iconische Behalten rein sensorischer Natur ist. Sperling und in ähnlicher Weise Averbach (& Coriell, 1961; & Sperling, 1961) spezifizierten den Teil der Items, der von den Vpn berichtet werden sollte, an Hand ihrer räumlichen Lage. Auch die Größe, die Farbe und die Helligkeit (von Wright, 1968, 1970) oder die Form (Turvey & Kravetz, 1970) taugen als Eigenschaften für den partiellen Report. Werden jedoch Vpn aufgefordert, Ziffern aus einer Mischung von Ziffern und Buchstaben auszuwählen (Sperling, 1960) oder die Buchstaben zu nennen, deren Namen mit einem bestimmten Vokal beginnt oder endet (Coltheart et alii, 1974), so fallen die Leistungen auf das Niveau, das sich mit der Methode des totalen Reports erzielen läßt oder sogar darunter. Für die rein visuelle Natur des Phänomens spricht auch der Befund, daß die Art des räumlichen Arrangements der wiederzugebenden Items und die Art des Hintergrundmaterials gleichfalls die Wiedergabeleistung beeinflussen (Fryklund, 1975). Hinzu kommt, daß der Bekanntheitsgrad der Items nicht auf die Geschwindigkeit des Verblassens einwirkt, daß Inhalte des Kurzzeit-Gedächtnisses nicht die iconische Verarbeitung beeinflussen und daß nur physische Aspekte vergessen werden (siehe im einzelnen Dick, 1974).

Messungen von Haber und seinen Kollegen (Haber & Nathanson, 1968; Haber & Standing, 1969, 1970) ergaben, daß ein Icon erst nach etwa 0,25 Sekunden verblaßt ist. Über das Persistieren der eigentlichen Wahrnehmung hinaus scheinen noch weitere Nacheffekte eine Verfügbarkeit der visuellen Information zu ermöglichen, da sich bei Verwendung der Methode des partiellen Reports und dunklem Vor- und Nachfeld Nachwirkungen bis zu fünf Sekunden (Averbach & Sperling, 1961; Sperling, 1963) erzielen lassen.

Dem iconischen Behalten wird gemeinhin eine beträchtliche Kapazität zugeschrieben, da es offensichtlich ein komplettes Wahrnehmungsbild konserviert. Gleichwohl treten bei der Messung seines Umfangs beträchtliche Schwierigkeiten auf, da der Bericht von Einzelelementen nur nacheinander erfolgen kann, was eine Vermittlung des kurzfristigen Behaltens involviert. Letzteres ist wahrscheinlich auch der Grund, weshalb eine gleichzeitig zu bewältigende Gedächtnisaufgabe das iconische Behalten beeinträchtigt (Chow & Murdoch 1975). Hinzu kommt, daß das Ablese-Signal erst erfaßt sein muß, was bedeutet, daß bei Beginn des Berichts das Icon schon ein gewisses Alter aufweist. So wundert nicht, daß sich bei Sperlings (1960) Personen nur neun gesehene Items erschließen lassen und nicht zwölf, wie bei unbegrenzter Kapazität des iconischen Behaltens eigentlich zu erwarten gewesen wäre.

Versuche über das Maskieren geben darüber Aufschluß, wie weit bei diesem Überdauern der Wahrnehmung (und möglicherweise auch anschließenden Verfügbarkeit der visuellen Information) ein peripherer oder zentraler Effekt vorliegt. Schon Baxt (1871) hatte beobachtet, daß ein Lichtblitz, der der Darbietung eines Stimulus folgt, die Erkennbarkeit desselben beeinträchtigt. Er bot sechs bis sieben Buchstaben für fünf Millisekunden und ließ nach einem variablen Intervall

inen Lichtblitz variabler Stärke folgen. Je kürzer das Intervall zwischen Stimulus und Lichtblitz war, umso weniger Buchstaben wurden berichtet. Die Stärke des Lichtblitzes hingegen beeinflusste die Größe des Intervalls, ab dem überhaupt erst Buchstaben gesehen werden. Sperling (1963) prüfte Baxts Befunde mit einem Zufallsmuster als Maske nach und kam über einen weiten Bereich von Bedingungen im wesentlichen zu denselben Ergebnissen. Da je 10 msec Verzögerung die Wiedergabe eines weiteren Buchstaben gestattete, nahm Sperling wahrscheinlich zu Unrecht (vergl. die Argumentation Neissers, 1967) an, daß die Buchstaben mit einer Geschwindigkeit von 100/Sek. abgelesen werden könnten. Eine Reihe weiterer Arbeiten über das Maskieren griff im folgenden die Frage auf, ob die Maske eine weitere Verarbeitung des Icons blockiert oder mit dem Icon zu einer zusammengesetzten Figur kombiniert wird, wodurch eine weitere Verarbeitung zwar behindert, aber nicht unmöglich gemacht wird. Turvey (1973) konnte diese Frage durch eine sinnvolle Serie von 18 Experimenten befriedigend lösen. Danach existieren zwei Arten von Maskierungen. Eine ist peripherer Natur, hängt von der Lichtenergie des Zielmusters und der Maske ab, zeigt eine multiplikative Wirkung zwischen der Dauer der Zielmusterdarbietung und der Größe des Intervalls zwischen den beiden Stimuli, ist relativ insensitiv in Bezug auf Übung und gibt subjektiv Anlaß zur Wahrnehmung eines aus Zielmuster und Maske kombinierten Musters. Die zweite ist zentraler Natur, hängt mehr von den figuralen Eigenheiten des Musters ab, zeigt eine additive Beziehung zwischen der Dauer des Zielmusters und der Größe des Intervalls, läßt sich durch Übung verbessern und führt subjektiv zu einer Unterbrechung des vorher klar wahrgenommenen Zielmusters.

Die Existenz eines iconischen Behaltens ist neuerdings von Holding (1975 a,b) in Frage gestellt worden. Die (rechnerisch) höhere Kapazität bei Verwendung der Teilreport-Technik wird von ihm auf "cue anticipation" und "output interference" zurückgeführt. Die beiden Alternativerklärungen sind jedoch unzutreffend (im einzelnen hierzu Coltheart, 1977). In Teilreport-Experimenten wird durch entsprechende Randomisierung gewöhnlich dafür gesorgt, daß Vpn aus Voreinstellungen auf bestimmte Stimulusbereiche keinen Vorteil ziehen können. Zum anderen ist auch nicht schlüssig, weshalb Interferenzen beim Reproduzieren den partiellen Report bevorzugen sollte. Holding geht davon aus, daß bei totalem Report mehr Responses erfolgen als beim partiellen Report. Da aber nach den Befunden von Dick (1969, 1971) spätere Responses mit wesentlich höherer Wahrscheinlichkeit falsch sind, wird beim Bilden von Durchschnitten der totale Report benachteiligt. Coltheart wendet im wesentlichen dagegen ein, daß Sperlings (1969) Vpn ziemlich genau halb so viele Items nannten, wenn sie weder Ziffern oder Buchstaben berichten sollten, wie wenn sie beide Arten nennen sollten; dies impliziert, daß Output-Interferenz nur eine vergleichsweise geringe Rolle spielen kann. Die Annahme einer Output-Interferenz läßt außerordentlich unerklärt, weshalb die Überlegenheit des partiellen Report bei Verzögerung des Hinweiszeichens für die Reproduktion rasch verschwindet. Selbst wenn man Holdings Einwände gelten lassen wollte, so würden sie sich allenfalls auf den partiellen Report als Methode des Nachweises des iconischen Behaltens erstrecken. An der Sache selbst, der Existenz eines positiven Nachbildes, kann indes kein Zweifel sein: Wird eine glimmende Zigarette in einem abgedunkelten Raum rasch bewogen, so sieht man nicht einen rasch bewegten Punkt, sondern einen bewegten, glühenden Strich.

Sensorische Erfahrungen und iconisches Behalten

Die Frage nach der Wirkung sensorischer Erfahrung (im Sinne langfristiger Speicherung) auf das iconische Behalten ist bislang kaum aufgeworfen worden. Aus den bisherigen Ergebnissen läßt sich jedoch eine wichtige Folgerung ziehen. Einerseits scheint das Icon ein Wahrnehmungserlebnis zu sein, das völlig der unmittelbar vorhergehenden "echten" Wahrnehmung entspricht, andererseits sind die Folgen der sensorischen Erfahrung auf die reizgebundene Wahrnehmung bekannt. Es ist deshalb anzunehmen, daß aufgrund sensorischer Erfahrung der Umfang gleichzeitig erfaßter Einzelheiten eines Icons ansteigt, daß ein Icon zunehmend mehr erfahrungsgemäße Bestandteile enthält, die über die unmittelbar vorher gegebene Reizgrundlage hinausgehen, und daß zunehmend feiner unterscheidend wahrgenommen wird. Eine Untersuchung der Wirkung langfristiger sensorischer Erfahrung auf das iconische Behalten dürfte jedoch beträchtliche Schwierigkeiten mit sich bringen, da bei einer Behaltensprüfung schwer zu unterscheiden sein dürfte, was eine Vp jeweils iconisch sah, was sie ablesen und kurzfristig behalten konnte und was sie erst später nach Verblissen des Icons wie bei üblichen Versuchen über das visuelle Reproduzieren erinnern konnte. Dick & Loader (1974, zit. nach Dick, 1974) fanden jedenfalls Unterschiede des iconischen Behaltens für Stimuli unterschiedlicher Bekanntheitsgrade: Die Genauigkeit unbekannter, aus zwei geraden Linien zusammengesetzter Formen war geringer als die bekannter geometrischer Formen (Quadrat, Kreis etc.); beide wiederum wurden ungenauer behalten als Buchstaben und Ziffern.

Zusammenfassung und Folgerungen

Wahrnehmungserlebnisse hören nicht schlagartig mit der Beendigung der sensorischen Reizung auf, sondern klin-

gen erst ab. Das abklingende visuelle Bild (Icon) scheint in Erlebnisqualität und Informationsgehalt völlig der unmittelbar vorangehenden, reizabhängigen Wahrnehmung zu entsprechen. Die Aufnahme nachfolgender andersartiger Reizmuster unterbricht den Abklingprozeß vorzeitig. Das iconische Wahrnehmen wird wahrscheinlich in gleicher Weise durch langfristige Erfahrung modifiziert wie die normale, reizgebundene Wahrnehmung.

Welche Folgerungen lassen sich daraus ziehen? Verschiedene Autoren nehmen an, daß im Anschluß an die Wahrnehmung visueller Stimulusobjekte zunächst eine iconische, dann kurzfristige Speicherung stattfindet, bevor visuelle Information langfristig gelernt wird (vergl. S.143ff.). Das Faktum, daß langfristiges Lernen das iconische Behalten wahrscheinlich in ähnlicher Weise modifiziert, wie die normale reizgebundene Wahrnehmung, zwingt hier zu einem radikalen Umdenken. Die Erfahrungsabhängigkeit des iconischen Wahrnehmens läßt sich doch nur so erklären, daß vor allem iconischen Behalten zunächst langfristig gespeicherte Information reaktiviert und für die Wahrnehmung nutzbar gemacht wird. Folgt man den bisherigen Überlegungen, so weckt sensorisch rezipierte Information nach Durchlaufen eines primären Kodierungsprozesses "ihre" Spur. Die von der Spur gelieferte mnestische Erregung wird in der subjektiven Wahrnehmung bewußt. Da die iconische Wahrnehmung die reizgebundene Wahrnehmung für den Bruchteil einer Sekunde fortführt und wie diese die Spuren früherer Erfahrung trägt, liegt der Schluß nahe, daß iconisches Behalten auf einem kurzfristigen Überdauern der mnestischen Erregung basiert. Geht man davon aus, daß visuelle Information in neuronalen Interaktionsverbänden gespeichert ist, subjektive Wahrnehmung aber auf einer Erregung solcher Verbände basiert, dann läßt sich das iconische Wahrnehmen einfach dadurch erklären, daß das neuronale Aktivitätsmuster nicht sofort nach Beendigung der sensorischen Reizung abbricht, sondern noch kurzfristig nachklingt.

Nach dieser Auffassung besteht also kein eigener sensorischer Speicher kurzfristigster Art. Iconisches Behalten basiert vielmehr auf der Erregung desselben Spurensystems, das auch wiedererkennendes Wahrnehmen ermöglicht. Bedenkt man, daß nach den bisherigen Annahmen das Ausmaß des langfristigen Lernens von der Dauer der mnestischen Erregung abhängt, so ergibt sich daraus eine wichtige Folgerung. Der Prozeß der Spurenbildung hört nicht mit der Beendigung der visuellen Reizung auf, sondern klingt gleichfalls noch nach. Dies scheint nun tatsächlich der Fall zu sein. Hines (1975) bot jeweils Serien von Zufallsfiguren unmittelbar aufeinanderfolgend tachistiskopisch dar. Es zeigte sich ein markanter Frische-Effekt, der weder durch ein blankes 30-Sekunden-Intervall, noch durch verschiedene interpolierte Tätigkeiten gleicher Dauer beeinflußt wurde. Die Wirkungslosigkeit der eingeschobenen Intervalle und Tätigkeiten spricht dafür, daß die gebotene Information unmittelbar langfristig gespeichert wurde. Der Frische-Effekt wiederum zeigt, daß bevorzugt das letzte, nicht mehr durch nachfolgende Stimuli gestörte Item gelernt wurde.

DAS KURZFRISTIGE VISUELLE BEHALTEN

Nach Beendigung einer reizgebundenen Wahrnehmung und nach Verblissen des sich anschließenden Icons ist die visuelle Information, die noch nicht dauerhaft gelernt wurde, nicht notwendigerweise verloren. Es besteht die Möglichkeit, Teile der Information nicht nur in einer akustisch-semantischen Form, wie das Modell von Sperling (1963, 1967) vorsieht sondern auch in einer visuellen Form festzuhalten (Murray & Newman, 1973; Kroll, 1975; Den Heyer & Barret, 1971; Hall et alii, 1973; Reeve & Hall, 1976). Diese Fähigkeit wird gewöhnlich einem visuellen Kurzzeitgedächtnis zugeschrieben, wobei die Diskussion anhält, ob überhaupt ein separater Kurzzeitspeicher existiert oder nicht. Wie im folgenden wahrscheinlich gemacht werden soll, setzt auch das unmittelbare Behalten keinen eigenen Speicher voraus, sondern läßt sich durch Besonderheiten der Nutzung des Langzeitspeichers erklären. Doch zunächst zu den Fakten.

Allgemeine Charakteristik des kurzfristigen visuellen Behaltens

Ein kurzfristig festgehaltenes Bild unterscheidet sich in seiner introspektiven Erscheinungsweise, seinem Umfang und seiner Dauer erheblich von einem Icon.

Introspektive Erscheinungsweise

Versucht man, sich das Aussehen eines Gegenstandes kurzfristig zu merken, so kann man prinzipiell zwei Wege

einschlagen. Man kann einen Gegenstand ganzheitlich betrachten und anschließend versuchen, das ganzheitliche Bild in der Vorstellung festzuhalten. Wie man im Selbstversuch leicht feststellen kann, ist ein solches ganzheitliches Festhalten jedoch recht schwer; das vorgestellte Bild entschwindet gewöhnlich binnen Sekunden aus dem Bewußtsein. (Es ist zu vermuten, daß die Fünf-Sekunden-Dauer des "Icons" in den Versuchen von Averbach & Sperling, 1961, und Sperling, 1963, auf solchen ganzheitlichen Vorstellungsbildern basiert.) Man kann aber auch das Objekt abtasten, d.h. Augen und Aufmerksamkeit nacheinander auf die verschiedenen Einzelheiten des Musters richten. Während der anschließenden Merkphase müssen die Einzelheiten dann in der Vorstellung nacheinander und immer wieder auf neue rekapituliert werden, andernfalls entfallen sie dem Bewußtsein. Bei diesem Rekapitulieren werden die Einzelheiten wie schon beim einleitenden Abtasten nacheinander ins Zentrum des Bewußtseins gerückt und dadurch in gewisser Weise aufgefrischt. Diese zweite Methode hat den Vorteil, daß mit ihrer Hilfe verschiedene Einzelheiten des ursprünglichen Bildes auch länger im Bewußtsein gehalten werden können, freilich um den Preis, daß die Spanne der verfügbaren Einzelheiten sehr begrenzt ist. Die zyklische Aufmerksamkeitswanderung muß im übrigen nicht unbedingt ihren Ausgangspunkt von einer "echten" Wahrnehmung nehmen. Auch ein Icon oder sich anschließende ganzheitliche Vorstellung kann abgetastet und zyklisch rekapituliert werden. Der Inhalt des visuellen unmittelbaren Behaltens besteht demnach entweder aus einem ganzheitlichen Vorstellungsbild, das sich an ein Wahrnehmungsbild oder ein Icon anschließt, oder einem von einem Wahrnehmungsbild, einem Icon oder einer anschließenden ganzheitlichen Vorstellung abgelesenem Bild, das in der Vorstellung in seinen Einzelheiten fortwährend rekapituliert werden muß. Es ist prinzipiell denkbar, daß für die beiden hier unterschiedenen Formen unterschiedliche Gesetzmäßigkeiten gelten. Da aber auch eine ganz-

heitlich festgehaltene Vorstellung zum Zwecke der Reproduktion (dagegen nicht notwendigerweise zum Zwecke des Wiedererkennens) abgelesen werden muß, dürfte die zyklische Form des unmittelbaren Behaltens bevorzugt in Erscheinung treten.

Der introspektiv in Erscheinung tretende enge Zusammenhang des kurzfristigen Behaltens mit der Aufmerksamkeit läßt sich insbesondere durch ein Experiment von Hines & Smith (1977) objektiv stützen. Die Autoren ließen auf die Darbietung von Zufallsformen mit unterschiedlicher Verzögerung verschiedene Distraktorenmuster folgen. Es zeigte sich, daß bei unmittelbarer Aufeinanderfolge von Zufallsfigur und Distraktor die Zufallsfigur wirksam maskiert wurde. Bei einer Verzögerung von 150 bzw. 300 msec zeigte sich, daß das Wiedererkennen nur beeinträchtigt war, wenn besonders auf den nachfolgenden Distraktor (eine weitere Zufallsfigur oder eine Ziffer; keine Wirkung jedoch bei einem Gitter) geachtet werden sollte. Sollte dagegen auf den ersten Stimulus geachtet werden, blieben die nachfolgenden Distraktoren unwirksam.

Die Spanne des kurzfristigen visuellen Behaltens

Wieviele visuelle Einzelheiten können kurzfristig gespeichert werden? Eine Antwort auf diese Frage ist nicht einfach, da sie Klarheit darüber voraussetzt, bei welchen Aufgaben sich überhaupt kurzfristiges visuelles Behalten äußert. Geht man von der hier gewählten introspektiven Bestimmung des unmittelbaren Behaltens aus und berücksichtigt die Besonderheiten der jeweiligen Versuche, so fügen sich die teilweise verwirrenden Befunde aus verschiedenen Experimenten, die scheinbar nichts miteinander zu tun haben, zu einem konsistenten Bild.

Aufschluß über die Spanne des Kurzzeitgedächtnisses versprechen zunächst Versuche über die Auffassungsspanne; hierbei wird untersucht, wieviele gleichartige Objekte mit einem Blick erfaßt werden können. Woodworth (1938, Kap. 27) referiert hier eine Reihe älterer Untersuchungen, die mit Jevons (1871) beginnen. Bei diesen Versuchen werden in der Regel zufällig angeordnete Punkte unterschiedlicher Zahl tachistoskopisch geboten; die Vp hat die Zahl der Objekte anzugeben. Als Spanne wird dabei traditionell die Anzahl der Elemente bezeichnet, die mit 50 % Wahrscheinlichkeit korrekt berichtet werden. Interessanterweise zeigen sich dabei bei steigender Punktwahl unterschiedliche Arten des Erfassens. Bis zu etwa vier Punkten können direkt, ohne weiteres Überlegen oder Zählen, erfaßt werden. Werden mehr Punkte geboten, wird zunehmend gruppiert: Einzelne Punkte werden anschaulich zu kleinen Gruppen zusammengefaßt und die Gruppen nacheinander registriert. Auf diese Weise lassen sich etwa sieben Punkte erfassen. Bei noch höherer Punktzahl kommt mehr und mehr Zählen ins Spiel. Mittels direktem Erfassen, Gruppieren und Zählen lassen sich etwa acht bis neun Punkte erzielen. Geht man von der introspektiven Erscheinungsweise des kurzfristigen Behaltens aus und berücksichtigt man die Erfahrungsabhängigkeit des ganzheitlichen Wiedererkennens, so scheinen diese Ergebnisse durchaus sinnvoll. Zwei, drei oder vier Punkte ergeben anschaulich eine Konstellation (Gerade, Dreieck, Viereck), die als solche bekannt sein dürfte und deshalb ganzheitlich erfaßt werden kann. Fünf und mehr Punkte bilden Konstellationsformen, die meist nicht mehr hinreichend geläufig sind; entsprechend werden Einzelpunkte oder spontan gebildete Punktgruppen bekannter Form an der reizgebundenen Wahrnehmung, dem verblassenden Icon und der zerfallenden kurzfristigen Vorstellung abgezählt. Für die Annahme, daß die Punkte nicht einfach in jedem Fall einzeln abgezählt werden, sondern daß ganzheitliches Erfassen der einen oder anderen Punktgrup-

pe die meßbare Auffassungsspanne in die Höhe treibt, spricht dabei der Befund, daß bei regelhafter Anordnung der Punkte die Auffassungsspanne größer ist. Neuere Ergebnisse bestätigen numerisch die früheren Befunde. Kaufman et alii (1949) bot beispielsweise 1-200 zufällig angeordnete Punkte für 200 msec und beobachtete, daß seine Vpn unter sieben Punkten kaum oder keine Fehler machten. Bei mehr Punkten wurde zunehmend geschätzt.

Hinweise auf die Spanne des unmittelbaren Behaltens versprechen weitere Versuche, bei denen miteinander kontaminiert die Auffassungs- und Reproduktionsspanne geprüft werden. Wird mehr als die bloße Angabe der Zahl der gebotenen Objekte verlangt, wird die meßbare Spanne kleiner. Glanville & Dallenbach (1929) boten neben Punkten, deren Anzahl zu nennen war, Buchstaben, die zu lesen waren, geometrische Figuren die zu nennen waren, und geometrische Figuren unterschiedlicher Farbe, bei denen Farbe und Form anzugeben waren. Die durchschnittlichen Spannen betrugen 8,8 respektive 6,9 respektive 3,8 respektive 3,0 Elemente. Hierbei ist zu bedenken, daß bei der ersten Aufgabe nur einmaliges, abschließendes Berichten, bei den anderen Aufgaben aber sukzessives Berichten der einzelnen Elemente erforderlich war. Im ersten Fall sollte deshalb nur die Geschwindigkeit der Aufmerksamkeitswanderung, im zweiten Fall dagegen zusätzlich die (langsamere) Reproduktionsgeschwindigkeit zu Buche schlagen. Neuere Befunde bestätigen in etwa die älteren Ergebnisse. Bei tachistoskopischer Darbietung können etwa vier Buchstaben oder fünf Ziffern wiedergegeben werden (Sperling, 1960; Scarborough, 1972).

Die Spanne des absoluten Einschätzens wird geprüft, in dem mehrere aufeinanderfolgend gebotene ein- oder mehrdimensionale Stimuli durch Nennen eines quantitativen Wertes zu identifizieren sind. Miller (1956) kommt in seiner berühmten Arbeit über die magische Zahl Sieben zu dem Schluß

daß die Spanne der absoluten Einschätzung durch die Menge der vom menschlichen Beobachter übertragbaren Information, die Spanne des kurzfristigen Behaltens dagegen durch die Zahl der Items begrenzt ist. Dieser Ansicht muß widersprochen werden. Um Reize adäquat einschätzen zu können, müssen - so wird hier ausdrücklich angenommen - einige Bezugsreize kurzfristig (oder wenn möglich auch längerfristig) gemerkt werden. Da aber nur eine begrenzte Zahl von Bezugsreizen unmittelbar behalten werden können, ist auch die Spanne der absoluten Einschätzung hinsichtlich der Zahl der Einschätzungen begrenzt. Die Spanne der möglichen Identifizierungen spiegelt jedoch dabei nur indirekt die Spanne des unmittelbaren Behaltens wider. Um beispielsweise acht eindimensionale Reize sicher unterscheiden zu können, genügt es, wenn eine Vp sieben Standardreize kurzfristig im Bewußtsein verfügbar hat. Um 20 zweidimensionale Stimuli unterscheiden zu können, genügen gleichfalls sieben Vergleichsdaten, da drei Bezugskategorien bezüglich der einen Dimension kombiniert mit vier Bezugskategorien bezüglich der zweiten Dimension $(3+1) \times (4+1) = 20$ Einzelunterscheidungen gestatten. Der empirisch zu beobachtende Anstieg der Spanne der absoluten Einschätzung mit der Anzahl der Dimensionen der Testreize, der von Miller und seinen Vorgängern als Anstieg der Kanalkapazität interpretiert wird, ist einer solchen Kombination von Bezugsdaten aus verschiedenen Dimensionen zuzuschreiben; die Zahl der maximal verfügbaren inneren Standards setzt jedoch auch hier eine genau umrissene zahlenmäßige Grenze, wie im einzelnen aufgezeigt werden soll.

Die von Miller zitierten Arbeiten zeigen zunächst, daß bei eindimensionalen Einschätzungen durchschnittlich sieben bis acht Identifizierungen getroffen werden können. So sind bei Einschätzung der Lage von Punkten auf einer Linie etwa 10, der Länge von Geraden etwa 6-8, der Größe von Flächen etwa 5-8, der Farben etwa 9, der Helligkeit etwa 5 und der Inklinatation von Linien etwa 7-9 korrekte Urteile möglich.

Bei Darbietungen mehrdimensionaler Stimuli können wesentlich mehr adäquate Identifizierungen erzielt werden. Klemmer und Frick (1953) boten in einer ersten Versuchsserie einen Punkt für 0,3 Sekunden in einem Quadrat. Die Punkte waren nach einer 3x3-, 4x4-, 6x6-, 8x8-, 10x10- und 20x20-Matrix angeordnet, so daß sich 0, 16, ... 400 verschiedene Positionen ergaben. Die Vpn mußten die Position des Punktes auf einem Antwortblatt möglichst genau angeben, das eine der verwendeten Matrix entsprechende Rasterung aufwies. Es zeigte sich, daß knapp 24 Positionen korrekt angegeben werden konnten. Um diese Leistung zu erbringen, muß sich eine Vp etwas weniger als vier horizontale und vier vertikale, also knapp acht Standardpositionen merken. In einer zweiten Serie wurden 3, 4 oder 1-2, 1-3 und 1-4 Punkte in einer 3x3-Matrix geboten, so daß sich zwischen 83 und 255 Alternativen ergaben. Rein rechnerisch ergibt sich daraus ein relativ hoher Informationsgehalt pro Stimulus (bei 255 Alternativen beispielsweise etwa 8 bits, da $2^8=256$). Die Ergebnisse zeigen, daß die verschiedenen Punkte oder Punktgruppen fast fehlerfrei hinsichtlich ihrer Position eingeschätzt werden konnten. Bedenkt man, daß bei einer 3x3-Matrix nur $2+2=4$ innere Kategorien zur Identifizierung eines einzelnen Punktes nötig sind, wodurch noch Kapazität für das Behalten der Form einer Punktkonfiguration als Ganzes übrig bleibt, wundert das nicht weiter.

Die von Miller zitierten Untersuchungen aus nicht-visuellen Sinnesgebieten ergeben ein ähnliches Bild. Zwei Beispiele mögen genügen. Pollack (1953a) variierte in einem Versuch gleichzeitig die Frequenz und die Lautstärke von Tönen. Die Vpn hatten beide Aspekte zu berichten ("dies ist Tonhöhe 3 und Lautstärke 2"). Es wurden je fünf Stufen pro Dimension verwendet, so daß 25 Teststimuli resultierten. Die Doppelschätzung ergab 3,1 bits, entsprechend knapp 9 korrekten Identifizierungen. Diese neun Unterteile lassen sich auf drei Einzelentscheidungen bezüglich der Höhe und der Tonstärke redu-

leren, wozu zu allermindestens $2+2=4$ innere Standards nötig sind. Dies entspricht aber ziemlich genau den vier bis fünf Vergleichsinformationen, die man zur Unterscheidung der fünf bis sechs Kategorien annehmen muß, die sich bei eindimensionaler Tonhöhenschätzung (Pollack, 1952, 1953a) und Lautstärkenschätzung (Garner, 1953) beobachten lassen. Akustische Signale, die in sechs Dimensionen (Frequenz, Intensität, Unterbrechungsrate, Einzeldauer, totale Dauer und räumliche Lokalisation) je fünf Ausprägungen aufwiesen, erbrachten 7.2 bits übertragene Information, was etwa 150 absolut identifizierbaren Kategorien entspricht (Pollack & Ficks, 1954). Unter der Annahme, daß die Vpn die Dimensionen dichotomisieren, was nur sechs innere Standards erfordert, weil die Alternativausprägung jeweils durch Negation definiert ist, lassen sich bereits $2^6=64$ Unterscheidungen treffen. Nimmt man an, daß in zwei Dimensionen jeweils drei Ausprägungen identifiziert werden, lassen sich $2^4 \times 3^2 = 154$ Kategorien unterscheiden, was acht kurzfristig gemerkte Standardausprägungen, verteilt über sechs Dimensionen erfordert. Ein- und mehrdimensionales Einschätzen erfordert demnach ungefähr die gleiche Zahl von kurzfristig behaltenen Standardinformationen.

Die These, daß absolutes Einschätzen durch kurzfristiges Merken von Standardreizen oder -Eigenschaften ermöglicht wird, wird durch zwei weitere Fakten gestützt. Pollack (1953a) fand in seinem bereits erwähnten Versuch, daß bei Darstellung eines Standardtones 2,5 Sekunden vor dem Testton die Unterscheidungsgenauigkeit in der Nähe dieses Standardtones deutlich anstieg. Dies ist als deutliches Indiz zu werten, daß dieser Standardton kurzfristig behalten und zur Identifizierung herangezogen wurde. Ferner fällt auf, daß in verschiedenen von Miller zitierten Arbeiten bei längerer Darbietungsdauer regelmäßig mehr Reize richtig eingeschätzt werden konnten. Miller berichtet auch, daß versierte Musiker an Stelle der üblichen sechs Töne 50 bis 60 Töne absolut einschätzen

können, ohne dieses Phänomen erklären zu können (a.o.O. S. 84). Der Anstieg der Spanne des absoluten Einschätzens in dem Umfang der Übung läßt sich jedoch leicht dadurch erklären, daß bei längerer Darbietung oder Erfahrung eine zunehmende größere Zahl von Vergleichsreizen langfristig gelernt wird und zu Vergleichszwecken herangezogen werden kann. Das absolute Einschätzen scheint somit in seiner Spanne tatsächlich der Spanne des unmittelbaren Behaltens unterworfen zu sein; letztere läßt sich aufgrund der vorliegenden Einschätz-Experimente mit etwa 5-9 Einzelinformationen angeben.

Die Spanne des unmittelbaren Behaltens läßt sich schließlich auch mit Hilfe der üblichen Wiedererkennenstechnik prüfen. Hierbei wird zunächst ein Zielmuster mit einer variablen Zahl von Einzelheiten geboten; bei der anschließenden Darbietung eines Testmusters ist anzugeben, ob es dem Muster entspricht oder nicht. Diese Technik läuft jedoch Gefahr, daß Einflüsse des iconischen und des kurzfristigen Behaltens miteinander konfundiert werden. Phillips (1974) benutzte schachbrettartige Muster, die einer 4x4-, 6x6- oder 8x8-Matrix entstammten. Die Testmuster wurden nach einem null bis neun Sekunden dauerndem Intervall geboten. Bei verzögerungsloser Darbietung zeigten einfachere wie komplexere Muster in gleicher Weise fast perfektes Wiedererkennen. Während nun aber die komplexesten Muster binnen drei Sekunden das Zufallsniveau erreichten, lagen die weniger komplexen auch noch nach Sekunden beträchtlich darüber. In einem weiteren Versuch konnte Phillips wahrscheinlich machen, daß das anfänglich perfekte Wiedererkennen überwiegend dem iconischen Behalten zuzuschreiben ist, die Kurven also einen Doppelleffekt wiedergeben. Phillips Daten zeigen, daß nach einem Ein-Sekunden-Intervall zu einem Zeitpunkt, an dem iconisches Behalten ausgeschlossen werden konnte, das 4x4-Muster noch zu 93 % richtig wiedererkannt werden konnte. Bedenkt man, daß sich eine Vp nicht die Anordnung aller 16 Felder, sondern beispielsweise nur die

ent schwarzen merken mußte, ferner daß bei zufälligem Vorliegen irgendwelcher übergreifender Anordnungsprinzipien noch weniger Information zu behalten war, dann fügt sich dieses Ergebnis recht gut in den Rahmen der bisherigen Befunde über die Spanne des unmittelbaren Behaltens ein.

Die Dauer des kurzfristigen visuellen Behaltens

Da kurzfristiges Behalten fortwährendes aktives Sens-Bewußtsein-Rufen der zu behaltenden Einzelheiten voraussetzt, ist zu unterscheiden, ob eine bestimmte Versuchsanordnung ein zyklenartiges Rekapitulieren gestattet oder nicht. Im ersteren Fall sollte die Dauer des unmittelbaren Behaltens praktisch unbegrenzt sein, zumal fortwährendes Memorieren zur Ausbildung einer dauerhaften Spur führt, im zweiten Fall dagegen nicht; die Dauer des unmittelbaren Behaltens sollte vielmehr in diesem Fall von der Zeitspanne abhängen, während der sich ein eben gesehenes Muster als Ganzes oder wenigstens eine Einzelheit desselben gerade noch in die Vorstellung zurückrufen läßt.

Posner & Konick (1966) ließen nach 0-30 Sekunden die Lage eines Punktes auf einer Linie angeben. Bestand die Möglichkeit zum Memorieren, zeigte sich auch nach 30 Sekunden noch kein Vergessen. Mußten jedoch in der Zwischenzeit unterschiedlich schwierige Operationen mit Ziffern ausgeführt werden, zeigte sich je nach Schwierigkeit geringeres oder größeres Vergessen. Bei der am schwierigsten auszuführenden Zwischenaufgabe (Klassifizieren von Ziffern nach hoch oder niedrig und gerade und ungerade) stieg der durchschnittliche Fehler bis 20 Sekunden nach der Darbietung an. Dale (1973) untersuchte das Behalten der Lage eines Punktes in einem quadra-

tischen Feld. Nach einer Darbietungszeit von 0,5 bis 10 Sekunden mußten sich die Vpn abwenden und Ziffern, die im Sekundenrhythmus visuell geboten wurden, weiterverarbeiten und anschließend auf einem Blatt Papier die Lage des Punktes angeben. Die Fehlerkurven (Abweichung in cm) zeigen einen rapiden Anstieg, der nach etwa acht Sekunden stark abflacht und spätestens nach 32 Sekunden ein stabiles Niveau erreicht, dessen Höhe von der Darbietungszeit abhängt. Der Fehleranstieg spiegelt wahrscheinlich das fortschreitende kurzfristige Vergessen wider, während das anschließend erreichte stabile Niveau dem Grad des langfristigen Lernens entspricht. Phillips & Baddeley (1971) prüften das kurzfristige visuelle Behalten mittels Wiedererkennen. Sie boten 0,5 Sekunden lang schachbrettartige Muster, die einer 5x5-Matrix entstammten. Durch anschließendes Maskieren wurden iconische Effekte unterbunden. Die Fehler- und Reaktionszeitmessungen für die kritischen Muster, die entweder identisch waren oder eines der 25 Felder geändert hatten, zeigen einen Anstieg, der jenseits von neun Sekunden ausklingt.

Ein Versuch von Posner & Keele (1967) scheint auf den ersten Blick den bisher zitierten Befunden zu widersprechen. Die Autoren boten im Abstand von 0-2 Sekunden zwei Buchstaben wobei möglichst schnell zu entscheiden war, ob der zweite Buchstabe dem ersten identisch war. Bei den positiven Durchgängen wurden entweder Buchstaben, die sowohl visuell, als auch akustisch identisch waren (z.B. A-A oder a-a) verwendet, oder Buchstaben, die nur in akustisch-semantischer Hinsicht übereinstimmten (z.B. a-A oder A-a). Bis zu etwa 1,5 Sekunden Verzögerung erbrachten die physisch identischen Buchstaben schnellere Reaktionszeiten, später jedoch nicht mehr. Die Zeit von 1,5 Sekunden spiegelt wohl aber weniger die Dauer des visuellen Kurzzeitgedächtnisses, als vielmehr den Zeitpunkt, ab dem ein akustischer Kode effektiver oder bequemer ist als der visuelle. Ein prinzipiell ähnlicher Versuch von Park et alii (1972), bei dem Schatten-Sprechen im

Intervall zwischen der Darbietung der beiden Stimuli offensichtlich verhinderte, zeigt denn auch, daß Unterschiede der Reaktionszeiten auch noch nach acht Sekunden vorhanden sind. Der Posner-Effekt ist ferner auch noch nach acht Sekunden vorhanden, wenn komplexere visuelle Stimuli in Form von Buchstabenpaaren oder unterschiedlichere visuelle Stimuli in Form von Buchstaben unterschiedlicher Schriftart und Klein-Groß-Schreibweise herangezogen werden (Parks & Kroll, 1975).

Unterschiede zum langfristigen Behalten

Es versteht sich, daß sich das kurzfristige visuelle Behalten auch hinsichtlich seiner Erscheinungsweise, seinem Umfang und seiner Dauer vom langfristigen visuellen Behalten unterscheidet. Es setzt kontinuierliches vorstellendes Vergegenwärtigen voraus, während langfristig gespeicherte Inhalte vorübergehend dem Bewußtsein entfallen können, ist in seinem Umfang sehr beschränkt und ist bei interferierender Tätigkeit nur von kurzer Dauer. Die Unterschiede illustriert deutlich eine Serie von Experimenten von Phillips & Christie (1977), bei denen der serielle Positionseffekt für das Behalten von schachbrettartigen 16-Felder-Mustern unter verschiedenen Bedingungen untersucht wurde. Nur jeweils das letzte Muster konnte mit ziemlich hoher Sicherheit wiedererkannt werden, während alle vorhergehenden Muster weitgehend unterschiedslos nur sehr fehlerhaft identifiziert wurden. Der Frische-Effekt wurde durch ein drei Sekunden dauerndes Interpoliertes Addieren unterbunden, während die Basisleistung unbeeinflusst blieb. Längere Darbietungszeiten führten zu einer Verbesserung der Basisleistung, ließen umgekehrt jedoch den Frische-Effekt unbeeinflusst. Bei diesem Versuch blieb der Frische-Effekt offensichtlich deshalb auf das letzte Muster beschränkt, weil ein 16-Felder-Muster die Kapazität des unmittelbaren Behaltens bereits voll auslastete. Die interpolierte Tätigkeit unterband den Effekt, weil sie die Aufmerksam-

keit in Beschlag nahm und das für das unmittelbare Behalten typische rasche Vergessen ermöglichte. Länger Darbietungszeiten verbesserten dank größerer Gesamtlernzeit ausschließlich die stabile Komponente des langfristigen Behaltens. Interessanterweise zeigte sich auch, daß die Wiedererkennungszeit für die kurzfristige Komponente wesentlich kürzer war als die langfristige. Es ist denkbar, daß die zusätzliche Zeit für die langfristige Komponente dem nur in diesem Fall nötigen Reaktivierung zuzuschreiben ist.

Die Wirkung sensorischer Erfahrung auf das kurzfristige visuelle Behalten

Miller (1956) macht in seiner bereits erwähnten Arbeit darauf aufmerksam, daß Stimuli unterschiedlichen (metrischen) Informationsgehalts in gleicher Weise kurzfristig gemerkt werden können; die Spanne des unmittelbaren Behaltens hängt nur von der Anzahl der Items ab, scheint aber weitgehend unabhängig von der Menge der bits pro Item. Als Beispiel führt Miller einen Versuch von Hayes (1952) an, bei dem binäre Ziffern, Dezimalziffern, Buchstaben, Buchstaben vermisch mit Ziffern und 1000 einsilbige Wörter geboten wurden. Es zeigte sich, daß die Anzahl der kurzfristig behaltener Items weitgehend unabhängig von ihrem metrischen Informationsgehalt war, der ja immerhin von ein bis zehn bits variierte. Für binäre Ziffern ergab sich eine Spanne von neun Items, auf etwa fünf für die Wörter abfällt. Pollak (1953b) fand ähnlicher Weise für verschiedene Sets von Buchstaben und Wörtern eine weitgehende Konstanz der Spanne des unmittelbaren Behaltens. Aus eigener Sicht ist der von Miller in den Vordergrund gestellte metrische Informationsgehalt von Stimuli

also letztlich die Tatsache, daß bei unterschiedlichen Klassen von Stimuli unterschiedlich große Grundgesamtheiten existieren weitgehend bedeutungslos (vergl. die eingehende Kritik im 1. Kap.). Sie verstellt nur den Blick für eine wesentlich wichtigere Eigenheit des kurzfristigen Behaltens: Hochkomplexe Stimuli können in gleicher Weise als Elemente des unmittelbaren Behaltens Verwendung finden wie einfache Stimuli, vorausgesetzt, sie sind als Ganzes hinreichend bekannt. Die Tatsache, daß in dem Versuch von Hayes einsilbige Wörter nicht ganz so gut behalten werden wie die anderen Stimuli, wäre nach dieser Auffassung der geringeren Bekanntheit der Wörter bzw. Wortfolgen zuzuschreiben.

Aus der Tatsache, daß beliebig große Einheiten mit der nämlichen zahlenmäßigen Begrenzung kurzfristig behalten werden können, sofern sie nur bekannt sind, läßt sich folgern, daß die Kapazität des unmittelbaren Behaltens von Einzelinformationen einfach dadurch gesteigert werden kann, daß diese Informationen unter größere bereits bekannte Einheiten subsumiert werden und nur diese übergeordnete Einheiten kurzfristig rekapituliert werden. So lassen sich beispielsweise mehr Ziffern behalten, wenn eine Ziffernfolge in Zweiergruppen (z.B. 10 25 ...) rekapituliert wird, wie wenn sie in Einzelziffern gelernt wird (1 0 2 5 ...), da zweiziffrige Zahlen weitgehend bekannte Einheiten darstellen.

Bedenkt man, daß komplexe Muster aus einfachen Teilen zusammengesetzt sind, deren Art und Anordnung erst erlernt werden muß, bevor das komplexe Muster als Element des unmittelbaren Behaltens dienen kann, so ergibt sich daraus eine weitere wichtige Folgerung: Durch langfristiges Lernen läßt sich der Umfang der kurzfristig gehaltenen Einzelheiten steigern, weil sich durch Lernen immer komplexere bereits bekannte Einheiten erzielen lassen. Dieser Effekt wird durch

einen Versuch von Sidney Smith (zitiert nach Miller, S. 93) illustriert, bei dem durch Lernen von wiederkehrenden Ziffergruppen und deren Bezeichnung durch einen neuen Kode die Spanne des unmittelbaren Behaltens auf 40 binäre Ziffern gehoben werden konnte. Der Effekt gilt, wie neuere Befunde zeigen, auch für den visuellen Bereich. Holding (1972) bat Araber und Amerikaner, Anordnungen tachistoskopisch gebotener arabischer und lateinischer Buchstaben ganz oder teilweise zu reproduzieren. Beim partiellen Report wurde dabei der zu reproduzierende Teil der Buchstaben durch einen unmittelbar an die visuelle Darbietung anschließenden Ton gekennzeichnet. Es zeigte sich, daß die Amerikaner sowohl beim totalen wie beim partiellen Report vergleichsweise nur sehr wenige arabische Buchstaben reproduzierten - offensichtlich deshalb, weil nur wenige Einheiten abgelesen und zum Zwecke der Reproduktion kurzfristig behalten werden konnten. Für eine erfahrungsabhängige Steigerung des Umfangs des unmittelbaren Behaltens spricht schließlich auch der Befund, daß die Spanne des kurzfristigen Behaltens sinkt, wenn geläufige Symbole (Raute, Dreieck usw.) in einer ungewohnten Orientierung geboten werden (Myer & O'Connell, 1972).

Werden Elemente des unmittelbaren Behaltens durch eine innere Aufmerksamkeitswanderung rekapituliert, so werden sie in ähnlicher Weise langfristig erlernt, wie beim zyklischen Abtasten einer entsprechenden äußeren Vorlage (Weaver, 1971; Tversky & Sherman, 1975). Daraus ergibt sich eine weitere Folgerung: Die Elemente des unmittelbaren Behaltens und des langfristigen Behaltens sind identisch. In beiden Fällen bestimmt die Erfahrung, was als bereits bekannte Einheit betrachtet wird, den Ausgangspunkt kurzfristigen Behaltens oder längerfristigen Behaltens ist.

Zusammenfassung und Folgerungen

Introspektiv betrachtet basiert das kurzfristige visuelle Behalten auf dem Vorhandensein einer visuellen Vorstellung, deren Einzelheiten in kurzer Folge durch Aufmerksamkeitswanderung in gewisser Weise "aufgefrischt" werden müssen, wenn sie nicht gänzlich verloren gehen sollen. Die Spanne des unmittelbaren Behaltens beträgt nach Ergebnissen von Auffassungs-, Reproduktions-, Einschätz- und Wiedererkennungs-experimenten ca. sieben bereits bekannte Einheiten oder Einzelheiten, die sich jedoch gewöhnlich nicht alle reproduzieren lassen, wenn ihre namentliche Nennung gefordert ist. Besteht die Möglichkeit des ungestörten Rekapitulierens, so kann kurzfristig gemerkte Information beliebig lange behalten werden. Bei Unterbrechung des Memorierprozesses ist kurzfristig gespeicherte Information nach etwa zehn Sekunden nur mehr in Resten nachweisbar. Erfahrung führt dazu, daß immer komplexere, informationsreichere Items als Elemente des kurzfristigen Behaltens herangezogen werden können. Für den visuellen Bereich bedeutet dies, daß immer komplexere Formen oder Konfigurationen als Elemente des kurzfristigen Behaltens übergeordneter Formen fungieren können. Die Elemente des kurzfristigen Behaltens bilden gleichzeitig Elemente des langfristigen Lernens.

Welche Folgerungen lassen sich daraus ziehen? Nach vorherrschender Auffassung wird ein dargebotener Stimulus zuerst in eine visuelle Repräsentation umgesetzt, die ihren Sitz in einem rapide verblassenden sensorischen Speicher hoher Kapazität hat. Nach einem dort erfolgreichem Kodierungsprozeß wird die Repräsentation in einen visuellen Kurzzeitspeicher transferiert, wo sie einem "naming"-Prozeß unterworfen wird. - Nach den bisherigen Überlegungen ist die Annahme eines eigenen sensorischen Registers überflüssig. Das iconische Behalten läßt sich einfacher als Nachklingen der zentralner-

vösen, durch Erfahrung modifizierten Erregung verstehen, die die Basis der bewußten Wahrnehmung darstellt. Die Annahme eines separaten kurzfristigen Speichers wird gleichfalls als überflüssig erachtet. Die Tatsache, daß die Items des kurzfristigen Behaltens wie langfristigen Lernens identisch sind und in gleicher Weise der Erfahrung unterliegen, läßt darauf schließen, daß das Kurzzeit-"Gedächtnis" und das Langzeitgedächtnis in gleicher Weise das bereits bestehende Spurensystem nützen. Es wird angenommen, daß die Willkür - was immer das auch physiologisch sei - die Fähigkeit besitzt, Spuren zu aktivieren und, sofern sie schon erregt sind, ihre Erregung aufrecht zu erhalten. Die Nutzung des bestehenden Spurensystems erfolgt physiologisch in einer willkürlichen Erregung von in ihrer Aktivität abklingenden Spuren, psychologisch im vorstellungsmäßigen Vergegenwärtigen eines eben erlebten Wahrnehmungsinhalts oder von Teilen eines solchen Inhalts. Das Phänomen des kurzfristigen Behaltens läßt sich demnach auf das Nachklingen der Erregung einer Spur (und damit zum Teil auf denselben Prozeß, der auch dem iconischen Behalten zugrundeliegt) und die Fähigkeit des Willens zurückführen, bereits weitgehend abgeklungene Erregungen von bestehenden Spuren wieder aufzufrischen.

Der Anzahl der willkürlichen Aktivierungen sind durch die Schnelligkeit des Abklingens der mnestischen Erregungen einerseits und der Geschwindigkeit der Aufmerksamkeitswanderung andererseits Grenzen gesetzt; möglicherweise spielen auch Interferenzprobleme eine Rolle. Nach der Aktivierung einiger Spuren ist die Erregung der restlichen schon so weit abgeflaut, daß sie nicht mehr der Willkür zugänglich sind. Entsprechend ist die Spanne des unmittelbaren Behaltens eng begrenzt.

Die meßbare Dauer des unmittelbaren Behaltens ist nicht unbedingt der meßbaren Dauer des iconischen Behaltens entsprechen, obwohl beiden dasselbe Phänomen - Nachklingen

der mnestischen Erregung - zugrundeliegt. Erstens ist denkbar, daß für die subjektiven Begleiterscheinungen einer mnestischen Erregung eine andere Schwelle besteht wie für die willkürliche Zugänglichkeit einer Spur. Zweitens wird im Falle des kurzfristigen Behaltens das Abklingen der mnestischen Erregung durch den Einfluß der Willkür zumindestens verzögert. Drittens spiegelt die gemessene Dauer des unmittelbaren Behaltens die Zeit wider, die verstreicht, bis auch die letzte konstituierende Spur verstummt ist; die Mehrzahl der Spuren verstummt jedoch schon wesentlich früher. Für die These des Nachklingens der Erregung einer Spur spricht im übrigen das Faktum, daß beim Schattensprechen von den Vpn bemerkt wird, wenn die abgelehnte Nachricht in zeitlicher Verzögerung der akzeptierten Nachricht entspricht. Treisman (1961, zit. nach Moray, 1969) bot gleichzeitig zwei Nachrichten dieser Art. Beim Schattensprechen der zeitlich führenden Nachricht bemerkten die Vpn auch noch nach zehn Sekunden (entsprechend etwa 20 Wörtern), daß die Nachrichten gleich waren. Im umgekehrten Fall wurde die Identität der beiden Nachrichten nicht erkannt, wenn sie nicht innerhalb etwa einer Sekunde auftraten. Offensichtlich erleichterte ein Nachklingen der ursprünglichen Erregung eine erneute Reaktivierung der Spuren. Vergleichbare Experimente liegen auch von Cherry (1953) und Treisman (1964a) vor.

SENSORISCHE EINSTELLUNG UND AUFMERKSAMKEIT

Wiedererkennendes Wahrnehmen findet statt, wenn ein früher hinreichend lange erfahrenes Reizobjekt erneut wahrgenommen wird. Dieses Wiedererkennen erfolgt aber bei vergleichbarer Vorerfahrung und vergleichbarer erneuter Reizung nicht immer in gleicher Weise, sondern läßt eine Abhängigkeit von bestimmten Einflüssen erkennen, die sich unter den Begriff der sensorischen Einstellung subsumieren lassen.

"Einstellung" bedeutet in der Sozialpsychologie eine erworbene Verhaltensbereitschaft, die kognitive, affektive und motorische Komponenten umfaßt (Secord & Backman, 1946). In der allgemeinen Psychologie erfuhr der Begriff so vielfältige Bestimmungen, daß seine Brauchbarkeit zweifelhaft erscheint (hierzu: J.J. Gibson, 1941). Im vorliegenden Kontext interessiert nur der sensorische Aspekt von Einstellungen. Unter sensorischer Einstellung soll hier eine aktuelle, in der unmittelbaren Zukunft gerichtete Wahrnehmungsbereitschaft verstanden werden, die auf Erfahrung basiert. Diese Begriffsbildung impliziert, daß irgendwelche Faktoren die Wahrnehmung bestimmter Gegenstände oder Eigenschaften sozusagen im Vorgriff fördern. Im einzelnen lassen sich dabei zwei Faktorengruppen, situative und motivationale, unterscheiden, die somit als mittelbare Faktoren des wiedererkennenden Wahrnehmens zu werten sind.

Situative Faktoren liegen vor, wenn jemand den Anfang einer Reizsequenz erfährt, die bisher in regelhafter Weise ablief; die Wahrnehmung der initialen Reize führt hier zur Erwartung der in der bisherigen Erfahrung nachfolgenden Reize. - Motive treten mitunter spontan auf und führen in ähnlicher Weise zu einer Präokkupation der Wahrnehmung wie situative Faktoren (McClelland & Atkinson, 1948). Situative

motivationale Faktoren treten vielfach miteinander verschränkt auf, da Reize nicht nur den Beginn einer Sequenz signalisieren, sondern auch selbst Motive wecken können. Als Sonderfall solcher verschränkter Einstellungsfaktoren sind hypnotische Einflüsse, Suggestionen oder auch nur einfache Instruktionen zu rechnen, da sie einerseits kognitive Hinweise darstellen, andererseits aber auch mehr oder minder starke Motive setzen (vergl. die "determinierende Tendenz" als Folge der bewußten Übernahme einer Aufgabe: Ach, 1905; Überblick über die Ergebnisse der Instruktionsforschung der Würzburger Schule: Koch, 1964).

Die wichtigste Wirkung sensorischer Einstellungen besteht in der Steuerung der Aufmerksamkeit. Wegen der zentralen Bedeutung der Aufmerksamkeit sei eine kurze Begriffsbestimmung erlaubt. Fröbes (1917) nennt drei Wesensmerkmale der Aufmerksamkeit. Aufmerksamkeit zeigt sich in einer subjektiven Klarheit der beachteten Inhalte gegenüber nichtbeachteten, sie stellt das Zentrum der augenblicklichen Beschäftigung der Seele, den Mittelpunkt des Erlebens dar und sie läßt sich ferner durch ihren Gegensatz, den Zustand der Zerstreuung, veranschaulichen. Frühe Untersuchungen über die Reizbedingungen, die die Aufmerksamkeit erregen (u.a. Meads, 1915; Curtis & Forster, 1917; Borman, 1920; Friedline & Dalenbach, 1929) wählen die Klarheit der Wahrnehmung als Kriterium der Aufmerksamkeit. Der Begriff der "attensity" soll dabei die Klarheit, die durch Aufmerksamkeitszuwendung zustandekommt, von der Klarheit, die durch günstige Reizbedingungen und intakten Sinnesorganen bedingt ist, abheben. Moderne Autoren unterscheiden in der Regel mehrere Bedeutungen des Begriffs; dabei bleibt unklar, wie weit hier überhaupt ein einheitliches Phänomen vorliegt. Moray (1969) unterscheidet die geistige Konzentration, die sich z.B. beim Rechnen zeigt (1), die Vigilanz, die sich im fortgesetzten Lauern auf das Eintreten eines Ereignisses äußert (2), die selektive

Aufmerksamkeit, die eine Nachricht aus der Fülle anderer herausfiltert (3), das Suchen nach einem bestimmten Objekt oder einer Gruppe von Objekten (4), die Aktivierung als Vorbereitung auf jedwedes nachfolgende Ereignis (5), die Einstellung als Vorbereitung auf eine bestimmte sensorische oder motorische Reaktion (6) und schließlich - mit Vorbehalt - den von Neisser (1967) postulierten Prozeß der "analysis-by-synthesis" (7). Unter Aufmerksamkeit wird hier in Anknüpfung an die ältere Tradition und in Beschränkung auf die Bedeutung (3) das Phänomen verstanden, daß spezifische Wahrnehmungsinhalte anschaulich ins Zentrum des Bewußtseins treten, während andere gleichzeitig "abgeblendet" werden. Diese Definition schließt die Konzentrationsfähigkeit (1) aus, insofern damit ein Persönlichkeitsfaktor gemeint ist, sie schließt ferner die Bedeutung der unspezifischen Wachheit (5) und der analysis-by-synthesis (7) aus. Die Einstellung (6) wird als Vorbedingung der Aufmerksamkeit gesehen. Suchen (4) kennzeichnet eine der Situationen, in denen sensorische Einstellungen bestehen. Die Vigilanz kann schließlich als Zustand länger anhaltender Aufmerksamkeit betrachtet werden (Überblick hierzu bei Swets & Kristofferson, 1970 und Mackworth, 1970).

Neben den attentiven Wirkungen - Akzentuierung einstellungsrelevanter Inhalte und Abblenden irrelevanter Inhalte - zeigen sensorische Einstellungen auch Einflüsse auf das Auftreten von Illusionen und Halluzinationen und auf das tachistoskopische Wiedererkennen. Bevor im folgenden genauer auf diese verschiedenen Einstellungswirkungen eingegangen wird, sei zunächst noch ein wichtiges Charakteristikum der eingestellten Wahrnehmung behandelt: die Enge des Aufmerksamkeitsumfangs. Während bei nichteingestellter Wahrnehmung eine Fülle von Eindrücken gleichzeitig erlebt werden kann (vergleiche das Kap. über das Reaktivieren), scheint eingestellte Wahrnehmung immer nur eine bereits bekannte Einheit oder einen Aspekt eines solchen Inhalts selektiv hervorheben zu können.

Der Umfang der selektiven Aufmerksamkeit

Das Phänomen, daß die Spanne der willkürlichen oder unwillkürlichen Aufmerksamkeit eng begrenzt ist, erfuhr unter verschiedenen Bezeichnungen das Interesse der Forschung. Mit "Enge des Bewußtseins" wird insbesondere in der älteren deutschsprachigen Literatur das Phänomen behandelt, daß bei gleichzeitiger Darbietung zweier Stimuli wahrscheinlich nur einer korrekt erfaßt werden kann. Neuere Arbeiten behandeln unter dem Stichwort "division of attention" ohne Bezug zu diesen älteren Arbeiten ähnliche Probleme.

Über die Technik von Versuchen über die Enge des Bewußtseins gibt vor allen Dingen Pauli (1914) und Pauli & Arnold (1972) Aufschluß. Port (1955) referiert in seiner Monographie über die Enge des Bewußtseins zunächst ältere Arbeiten, die meist Doppelleistungen, z.B. Rezitieren und gleichzeitiges Multiplizieren erforderten. In der Regel gelangen die Doppelleistungen, jedoch nur mittels Hin- und Herwandern der Aufmerksamkeit zwischen beiden Aufgaben. Objektiv zeigten sich in der Regel gegenseitige Störungen und eine Ausführungszeit, die über der Summe der Einzelzeiten lag. Von den gut kontrollierten Experimenten sind besonders die Arbeiten Magers (1920, 1925, 1930) zu nennen, zumal sie neben taktilen Vergleichen optische Intensitäts-, Mengen- und Formvergleiche im Schwellenbereich erforderten. Es zeigten sich in rund 86 % der Fälle, bei denen eine Doppelleistung gefordert war, Ausfallerscheinungen. In den verbleibenden Fällen erfolgreicher Doppelleistungen ergab die Selbstbeobachtung fast ausnahmslos eine Aufeinanderfolge der Auffassungen. Die grundsätzliche Problematik solcher Untersuchungen wird an der Methodik Schulzes (1929) deutlich, der zu gänzlich anderen Ergebnissen - zwischen 0 und 25 % Ausfälle - kam. Schulze verwendete vor allem deutlich überschwellige Reize, die offensichtlich "Nachempfindungen", also iconisches und möglicherweise

auch kurzfristiges Behalten gestatteten und die Doppelaufgaben nacheinander lösen ließen. Mnestiche Nachwirkungen sind offensichtlich auch dafür verantwortlich, daß die Auffassungsspanne bzw. Aufmerksamkeitsspanne nicht ein, sondern mehrere Elemente umfaßt (vergl. das vorhergehende Kap.). Port baut in seiner eigenen Untersuchung auf die Methodik Paulis bzw. Magers auf, verbessert sie aber in wichtigen Punkten. So sieht er simultane doppelte Reaktionen - eine sprachliche für die optischen Aufgaben und eine Fußreaktion für die taktilen Aufgaben - vor, um Ausfälle zu vermeiden, die durch sukzessives Kenntnisgeben und dabei mögliches kurzfristiges Vergessen entstehen könnten. Neben taktilen Alternativ-Stimuli wurden visuelle Reize in Form von Wörtern mit und ohne Druckfehler, aussprechbare sinnlose Silben, unaussprechbare Buchstabenverbindungen, Zahlen und verschiedene Zeichen zur Zahlauffassung verwendet. Für alle angewandten Reize wurde vorher die Grenze bestimmt, bis zu der sich das Dargebotene eben noch einwandfrei erkennen ließ, und nur solche schwelennahe Reize verwendet. Es zeigte sich, daß in mindestens 61,6 % der Fälle ein gleichzeitiges Erfassen des taktilen oder optischen Reizes nicht möglich war. Die Reaktionszeiten waren dabei in den rund 40 % der Fälle, in denen Doppelleistungen erbracht wurden so stark erhöht, daß sie mindestens die Zeiten für die beiden isolierten Leistungen und die Aufmerksamkeitswanderung umschloß. Der Autor glaubt damit den lückenlosen Nachweis der Enge des Bewußtseins erbracht zu haben, zumal die Ergebnisse der Selbstbeobachtung die objektiven Resultate bestätigen.

Bei den genannten Untersuchungen wurden simultane Stimuli verwendet, die verschiedenen Modalitäten entstammten. Die Enge des Bewußtseins tritt offensichtlich aber auch in Erscheinung, wenn mehrere intramodale, speziell visuelle Stimuli gleichzeitig zu beachten sind. Senders (1966, 1967) befaßt sich mit der Verteilung der Aufmerksamkeit auf eine

Anzahl von Instrumenten, die fortlaufend visuell kontrolliert werden müssen. Das Grundmuster eines solchen Versuchs sieht etwa vier Ampere-Meter mit Mittel-Normallage vor, die mit variablen Strömen niedriger Frequenz gespeist werden. Die Art der Bewegung und die Größe des Ausschlags kann dabei bei den einzelnen Instrumenten unabhängig erfolgen, aber auch eine gewisse Interrelation aufweisen, wie es z.B. in einem Flugzeug bei Geschwindigkeits- und Höhenmesser im Steigflug der Fall ist. Die Aufgabe des Beobachters ist dabei, immer dann einen Knopf zu drücken, wenn eine der Nadeln ein bestimmtes Kriterium überschreitet. Konfrontiert mit dieser Aufgabe entwickeln Vpn eine Strategie der Aufmerksamkeits- und Blickwanderung, die von den Charakteristiken der Signale und den erforderlichen Präzision der Überwachung abhängt. Der Autor kommt zu dem Schluß, daß ein menschlicher Operator eine Ein-Kanal-Anlage ist, die gleichzeitig immer nur auf ein Signal achten kann. Die Wahrscheinlichkeit einer menschlichen Fehlleistung entspricht der Wahrscheinlichkeit, daß zwei oder mehr Signale gleichzeitig Aufmerksamkeit erfordern.

In jüngerer und jüngster Zeit erfuhr das Problem der Enge des Bewußtseins unter dem Stichwort "division of attention" erneute Behandlung. Einige Arbeiten (u.a. Eijkman & Vendrick, 1965; Brown & Hopkins, 1967) hatten gezeigt, daß Personen auf gleichzeitig gebotene auditive und visuelle Signale genau so gut reagieren konnten wie auf isoliert gebotene Signale. Andere Autoren wie z.B. Lindsay et alii (1968) oder Egeth & Pachella (1969) konnten demgegenüber zeigen, daß sich die allgemeine Leistungsfähigkeit reduziert, wenn sich die Aufmerksamkeit auf multiple, gleichzeitig präsentierete Signale aufspalten muß. Lindsay et alii verlangten beispielsweise die Diskrimination von jeweils zwei Tönen unterschiedlicher Höhe und Lautstärke und von zwei Punkten in unterschiedlicher horizontalen und vertikalen Positionen, wobei auf eine, zwei oder alle vier Dimensionen zu achten war. Die

Unterscheidbarkeit (d' der Signal-Entdeckungstheorie) sank für beide Modalitäten mit der Anzahl der Input-Kanäle. Eine genauere Analyse ergab dabei, daß die Leistungsfähigkeit unter Mehr-Kanal-Bedingungen in der Regel beträchtlich unter die bei Einkanalbedingungen sank: Die Mehrkanal-Kapazität erreichte nicht einmal die Einkanal-Kapazität. Die Autoren nehmen an, daß die verschiedenen Kanäle - wenn auch mit gewissen Einbußen - gleichzeitig berücksichtigt werden können, ein Aufmerksamkeitswechsel mehr Zeit erfordert, als die Darbietungszeit (67, 133 und 200 Milisekunden) betrug, übersehen dabei aber, daß ein Stimulus aufgrund des ikonischen Behaltens psychisch wesentlich länger als inre präsent ist. In der Folgezeit wurden verschiedene Modelle der gespaltenen Aufmerksamkeit entwickelt, die die Reduktion der Effizienz erklären sollten (z.B. Broadbent, 1971; Kahneman, 1973). Long testete in einer Serie von Experimenten verschiedene Eigenschaften solcher Modelle, so die Frage, ob die Verarbeitungskapazität beschränkt oder unbeschränkt ist (Long, die Frage, ob ein Subjekt bei Darbietung eines Mehrfach-Signals zu einem Zeitpunkt nur ein Signal verarbeiten kann oder mehrere (Long, 1976a) und die Frage, ob die Effizienz in einer Aufgabe mit dem Schwierigkeitsgrad einer gleichzeitigen zweiten Frage interagiert oder nicht (Long 1976b, 1977). Diese Untersuchungen tragen jedoch nichts zur Frage der Einheit des Bewußtseins bei, da die kognitiven Nachwirkungen simultaner Reize, die in den älteren deutschen Arbeiten früh berücksichtigt wurden, nicht in Rechnung gestellt wurden.

Faßt man die Ergebnisse fürs erste zusammen, so scheint eine echte Teilung der Aufmerksamkeit als unwahrscheinlich. Neueste Befunde zeigen jedoch, daß das Problem differenzierter betrachtet werden muß. So macht es zunächst einen Unterschied, ob gleichzeitig gebotene Stimuli nur den akustischen oder neben dem akustischen noch einen weiteren Sinneskanal beanspruchen. Während beim Schattensprechen gleichzei-

tig in akustischer Form gebotene Wörter nur auf Zufallsniveau wiedererkannt werden können (Glucksberg & Cowen, 1970; Allport et alii, 1972; Wickens & Moody, 1976), zeigen sich gewisse, wenn auch schwache Reproduktions- und Wiedererkennensleistungen für visuell gebotene Wörter, leicht zu benennende Zeichnungen und Bilder (Allport et alii, 1972; Rowe & Rogers, 1975; Rollins & Thibadeau, 1973); das Wiedererkennen namentlich nur schwer zu benennender Bilder und Zeichnungen ist hingegen kaum beeinträchtigt (Allport et alii, 1972; Rollins & Thibadeau, 1973).

Zum zweiten zeigt sich, daß der Übung eine entscheidende Rolle für das Problem der Enge des Bewußtseins zukommt. Als Folge exzessiver Übung ist es zunächst möglich, die Aufmerksamkeit beim Suchen auf mehrere Zielmuster gleichzeitig zu richten. Neisser et alii (1963) fanden in ihrer Schlüsseluntersuchung, daß nach langer Übung nach zehn oder fünf gleichbleibenden Charakteren in Buchstaben- und Ziffernlisten genau so schnell gefahndet werden kann wie nach einem. Dieser Befund ist in einer Reihe von Experimenten überprüft und hinsichtlich seiner genaueren Bedingungen präzisiert worden. Unabhängigkeit der Suchzeit von der Größe des Zielsets unter der Bedingung exzessiver Übung und der Verwendung immer der gleichen Zielbuchstaben bzw. Ziffern fanden Shurtleff & Marsetta (1968) und Cohen (1972). Werden hingegen immer wechselnde Zielcharaktere aus der größeren Grundgesamtheit aller Buchstaben und Ziffern entnommen und diese Zielmuster jeweils erst unmittelbar vor dem Suchdurchgang mitgeteilt, so steigt die Suchzeit nach übereinstimmendem Befund aller Autoren etwa linear mit der Anzahl der Buchstaben, auf die gleichzeitig zu achten ist (Kaplan & Carvellas, 1965; Kaplan et alii, 1966; Metlay et alii, 1970; Cohen, 1972; Kristofferson et alii, 1973). Parallele Unterschiede fanden sich auch in tachistoskopischen Versuchen, bei denen die Versuchsbedingungen an die Bedingungen der Suchexperimente angeglichen wurden (Kristof-

ferson, 1972a, c). Kristofferson (1972b) weist auf eine weitere kritische Bedingung hin. Sie konnte den fraglichen Befund Neissers trotz nahezu identischer Versuchsbedingungen - mit der einen Ausnahme, daß auf eine geringere Fehlerzahl gedrängt wurde - nur teilweise bestätigen. Die Unterschiede zwischen einem einzelnen Buchstaben und Sets mit fünf Charakteren als Suchziel verschwanden auch dann nicht, wenn jede Vpn so lange weitertrainiert wurde, bis sich kein weiterer Abfall der Suchzeit mehr zeigte. Die Unterschiede zwischen fünf und zehn gleichzeitig zu suchenden Zielcharakteren verschwanden hingegen. Unter Hinweis auf die Untersuchung von Wattenbarger (1968), der nur bei möglichst schnellem Suchen ohne besondere Betonung der Fehlervermeidung gleiche Suchzeiten für unterschiedliche Setgrößen fand, nicht aber, wenn die Vpn zu möglichst gänzlicher Fehlervermeidung angehalten wurden, nimmt die Autorin an, daß ihr teilweise abweichendes Ergebnis durch die Erfordernis größerer Genauigkeit bedingt ist. Eine neuere Untersuchung von Cohen & Pew (1974) ergab gleichfalls, daß die Suchgeschwindigkeit bei Betonung der Genauigkeit während 15 Übungstage zwar weitgehend, aber nicht vollständig von der Zahl der möglichen Zielmuster (1-5) unabhängig wird. Auf eine weitere Unterschiedlichkeit der Ergebnisse bei Ein- und Mehrfach-Suche machen Yonas & Pittenger aufmerksam (1971). Nur eine ihrer drei Vpn erreichte nach extensiver Übung für die Mehrfach-Suche Abtastgeschwindigkeiten, die nur geringfügig über der für Einfachsuche lagen. Während sich die Gesamtzahl der Fehler wie bei Neisser et alii in beiden Bedingungen kaum unterschied, zeigte eine genauere Analyse, daß zwei Personen unter der Mehrfach-Suchbedingung wesentlich mehr Fehler für den schwierigsten Buchstaben machten.

Als Folge exzessiver Übung kann nicht nur gleichzeitig auf das Vorhanden-Sein mehrerer Stimuli geachtet werden, es kann auch noch eine zweite Leistung ausgeführt werden, die denselben Sinneskanal beansprucht. Underwood (1974) berichtet von einem versierten Schattensprecher, der nahezu

perfekt Ziffern entdecken kann, die in eine von zwei gleichzeitig gebotenen Buchstabenlisten eingestreut ist, wiewohl zum Zwecke des Schattensprechens die Aufmerksamkeit nur auf eine der beiden Listen gerichtet ist.

Schließlich mehren sich auch Befunde, die zeigen, daß als Folge exzessiver Übung zwei verschiedene Leistungen, die unterschiedliche Sinneskanäle und Effektororgane beanspruchen, erbracht werden können. Introspektive Berichte und - soweit durchgeführt - anschließende Behaltenstests lassen möglich erscheinen, daß hierbei eine echte Aufmerksamkeits-spaltung vorliegt. Allport et alii (1972, Exp. II) ließen versierte Klavierspieler leichte oder schwierige Texte schattensprechen und gleichzeitig Musikstücke unterschiedlicher Schwierigkeit vom Blatt spielen. Im anschließenden Test zeigten sich nur geringfügige Einbußen beim Schattensprechen und eher bessere Leistungen beim Klavierspielen. Shaffer (1975) berichtet von einer geübten Typistin, die mit hoher Geschwindigkeit einen visuellen Text abschreiben kann, während sie schattenspricht oder rezitiert. Eine Reduzierung der visuellen Textredundanz hat wenig Wirkung auf die Doppelleistung. Eine Variierung der zweiten Aufgabe zeigt eher Einbußen, wenn die Response-Einheiten, als wenn die Stimulus-Einheiten ähnlich sind. Auditives Tippen mit gleichzeitigem Schattensprechen, Laut-Lesen oder Rezitieren bereitet hingegen große Schwierigkeit. Spelke et alii (1976) ließen ihre beiden Vpn leise Geschichten lesen, während sie Wörter schreiben mußten, die der Experimentator diktierte. Nach ca. sechs Wochen täglich einstündiger Übung konnte der Lesetext in der ursprünglichen Geschwindigkeit voll erfaßt werden, das Kopieren erfolgte jedoch mehr oder weniger automatisch, ohne daß der Sinn der Worte erfaßt wurde. In einer weiteren Phase des Experiments erlernten die Vpn jedoch, Relationen zwischen den diktierten Wörtern zu erfassen und schließlich nicht die diktierten Wörter, sondern die Kategorie, der sie entnommen waren, nieder-

zuschreiben, ohne daß dadurch das Lesen beeinträchtigt wurde. Wiewohl diese Doppelleistung fast zwingend eine echte Aufmerksamkeitspaltung nahelegen scheint (vergl. Neisser, 1976) bleiben Zweifel bestehen, zumal die introspektiven Berichte der Vpn nicht eindeutig sind.

Die Akzentuierung einstellungsrelevanter Inhalte

Sensorische Einstellungen führen dazu, daß relevante Inhalte besonders lebendig, klar und bewußtseinszentriert wahrgenommen werden. Der Effekt läßt sich introspektiv sehr schön beobachten, wenn man beispielsweise vorübergehend seine Wahrnehmung auf alle roten Gegenstände in seiner Umgebung einstellt. Dinge, die vorher nicht aufgefallen waren, finden sich nun plötzlich im Zentrum der Bewußtheit. In Versuchen bei denen durch entsprechende Instruktion (beginnend mit Küpfe, 1904) oder regelhafte Vorerfahrung (beginnend mit Yokoyama) eine Einstellung auf einen bestimmten Aspekt eines visuell-chistoskopisch gebotenen Reizes erzeugt worden ist, wurde schon früh dieser Effekt nachzuweisen versucht (Überblick: Neisser, 1966). Külpe bot Gruppen von Buchstaben, die hinsichtlich Farbe und der räumlichen Anordnung variierten. Die Vpn wurden unterwiesen, entweder auf die Anzahl, die Position, die Figur oder die figurale Anordnung der Buchstaben zu achten. Es ergab sich, daß die Vpn die relevanten Attribute genauer berichten konnten als die inzidentellen. Der Versuch rief eine lebhaft diskutierte Kontroverse hervor. Es wurde diskutiert, ob in diesem oder in der Fülle der nachfolgenden Experimente (neuerdings: Homa & Cline, 1977) der meßbare Einfluß der Einstellung auf die Geschwindigkeit und Genauigkeit des verbalen Berichts dadurch zustande kam, daß ein entsprechendes Reizattribut klarer wahrgenommen wurde.

dadurch, daß die inzidentellen Attribute gewöhnlich nach den akzentuierten berichtet werden, dadurch, daß Einstellungen die Zahl der möglichen Alternativen einengen, oder schließlich dadurch, daß Einstellungen zu unterschiedlichen Kodierungsstrategien und damit sekundär zu unterschiedlichen Gedächtnisorganisationen führen (siehe im einzelnen hierzu Haber, a.o.O.). Egeth (1967) geht im ersten Teil seiner Arbeit speziell der Frage nach, wie weit sich aus Versuchen des Külpe-Typs echte Wahrnehmungseinflüsse folgern lassen. Er kommt zu dem Schluß, daß zumindestens einige der von ihm referierten Arbeiten (Wilcocks, 1925; Lawrence & La Berge, 1956; Harris & Haber, 1963; Haber, 1964) eine lebendigere Wahrnehmung der relevanten Attribute gegenüber den inzidentellen widerspiegeln. Wichtig ist ferner, daß die Vpn in verschiedenen Versuchen - soweit befragt - von einer subjektiv größeren Wahrnehmungsklarheit der Einstellungsobjekte oder -Aspekte berichten.

Pachella (1975) zog neuerdings das Instrumentarium der Signal-Entdeckungstheorie und eine abgeänderte Versuchsmethodik heran, um zu genaueren Aufschlüssen zu gelangen. In einem faktoriellen Versuchsplan wurde entweder ein Name oder ein Bild vor oder nach einem kaum erkennbaren Testbild geboten. Die Vpn mußten entscheiden, ob diese Stimuli mit dem Teststimulus übereinstimmten oder nicht. Die Darbietung eines Bildes vor dem Testbild führte zu besseren Erkennensleistungen als die Darbietung nach dem Testbild. Die Darbietung eines Namens führte hingegen zu einer signifikanten Änderung des Entscheidungskriteriums, während die Unterscheidbarkeit unverändert blieb. Etliche der Personen, die den Vergleichsstimulus (Wort und Bild) vor dem Teststimulus geboten bekamen, berichteten, sie hätten das Testbild gesehen. Keiner von den anderen Personen, die den Vergleichsstimulus erst nachher erhielten, sah hingegen das Bild. Die objektiv besseren Leistungen der Gruppe, die das Bild vorher erhielt,

gegenüber der Gruppe, die es nachher erhielt, sind nach Ansicht des Autors Folge der besseren Wahrnehmung. Das Ergebnis der Namensgruppe ist demgegenüber so zu interpretieren, daß die Personen deshalb mehr Vertrauen in ihr Urteil besaßen, weil sie den fraglichen Stimulus sahen, obwohl ihre Erkenntnisleistung objektiv nicht besser war.

Die Wirkung sensorischer Einstellungen beschränkt sich nicht auf eine größere Lebendigkeit und Bewußtseinsnähe relevanter Inhalte; es scheint vielmehr so zu sein, daß Einstellungsinhalte auch im Sinne einer Figur-Grund-Gliederung optisch hervortreten (d.h. tendenziell näher erscheinen), während irrelevante Inhalte als Grund zurücktreten. Das figurhafte Hervortreten läßt sich am deutlichsten erleben, wenn man auf der Suche nach irgendeinem Gegenstand plötzlich Erfolg hat; das Suchobjekt scheint einem förmlich in die Augen zu springen. Vergleichbare Erlebnisse zeigen sich auch bei der Ausgliederung eingebetteter Figuren, die bei entsprechender Sucheinstellung in gewisser Weise "heraus"-gesehen werden (Gottschaldt 1926). Das Phänomen läßt sich schließlich auch recht klar an Figuren aufweisen, die reversible Figur-Grund-Gliederungen zulassen, wie z.B. die bekannte Vasen-Gesichter-Figur von Rubin (1921) oder die Zwei-Gesichter-Figur von Schafer & Murphy (1943). Eine Sammlung verschiedener solcher Figuren enthält Schober & Rentschler (1972). Das Teilgebilde, das bei diesen Mustern als Figur gesehen wird, steht jeweils auch im Zentrum der Aufmerksamkeit und umgekehrt.

Die Wahrnehmung irrelevanter Inhalte

Die genannten Befunde über die Selektivität der Aufmerksamkeit machen umgekehrt auch wahrscheinlich, daß relevante Inhalte vergleichsweise weniger deutlich wahrgenommen werden.

men werden als relevante. Es läßt sich dabei nicht ohne weiteres entscheiden, ob die relevanten Stimuli in ganz besonderer Weise akzentuiert sind oder ob umgekehrt irrelevante Stimuli "abgeblendet" sind oder ob beide Effekte vorhanden sind, da sich eine Normalwahrnehmung nur schwer definieren läßt. Während einstellungsrelevante Inhalte jedenfalls subjektiv vergleichsweise klar wahrgenommen werden, werden umgekehrt einstellungsirrelevante Objekte oder Aspekte vergleichsweise schlechter gesehen. Die mindere Wahrnehmung scheint dabei bis zur Nicht-Wahrnehmung gehen zu können. Von Uexküll (& Kriszat, 1970) berichtet von zwei entsprechenden eigenen Erlebnissen:

"Als ich längere Zeit bei einem Freunde zu Gast war, wurde mir täglich zum Mittagessen ein irdener Wasserkrug vor meinen Platz gestellt. Eines Tages hatte der Diener den Tonkrug zerschlagen und mir statt dessen eine Glaskaraffe hingestellt. Als ich beim Essen nach dem Krug suchte, sah ich die Glaskaraffe nicht. Erst als mein Freund mir versicherte, das Wasser stünde an seinem gewohnten Platz, schossen auf einmal verschiedene Glanzlichter, die auf Messern und Tellern verstreut lagen, durch die Luft zusammen und bildeten die Glaskaraffe. ...

Die zweite Erfahrung ist folgende: Ich betrat eines Tages einen Laden, in dem ich eine größere Rechnung zu bezahlen hatte, und zog eine 100-Mark-Note. Diese war ganz neu und leicht geknickt, sie legte sich nicht auf den Ladentisch, sondern blieb auf ihrer Kante stehen. Ich bat die Verkäuferin, mir den Rest herauszugeben. Sie erklärte mir, ich habe noch nicht bezahlt. Vergeblich versuchte ich, sie darauf hinzuweisen, daß sich das Geld vor ihrer Nase befände. Sie wurde ärgerlich und bestand auf sofortige Bezahlung. Da rührte ich den Schein mit dem Zeigefinger an, daß er umfiel und sich richtig legte. Das Fräulein stieß einen kleinen Schrei aus, nahm dann den Schein und betastete ihn voller Besorgnis, er möge sich wieder in Luft auflösen. ..." (a.o.O., S. 81)

Graumann (1960) bot Gesichtszeichnungen tachistoskopisch dar. Während bei neutraler Instruktion alle 20 Vpn das Gesicht bei der ersten Exposition erkannten, war dies bei verbal induzierter Erwartung, "ein Tier" oder ein "schematisch gezeichnetes Häschen" zu sehen, nur mehr in 11 von 15 bzw. 4 von 15 Personen der Fall. Bei Darbietung von fünf animalischen Strichzeichnungen wachsender Vollständigkeit vor dem kritischen Reiz erkannten nur 3 von 20 Personen das Gesicht. Bezeichnen-derweise wurden statt dessen Bestandteile der Zeichnung einstellungsgemäß als animalia oder naturalia aufgefaßt.

Vergleichbare Effekte lassen sich auch willkürlich erzielen. Versierte Personen lassen beim mikroskopischen Betrachten beide Augen offen; die irrelevante Information des zweiten Auges wird nicht wahrgenommen. Kolers (zit. nach Moray, 1969, S. 88) berichtet, wenn ein halbdurchlässiger Spiegel so arrangiert wird, daß ein Betrachter sowohl die Welt vor ihm durch den Spiegel als auch die Welt hinter ihm im Spiegel sehen kann, dann kann der Betrachter willkürlich bestimmen, welches Bild unterdrückt werden soll, obwohl keine Änderung der Akkomodation oder der Blickrichtung erforderlich ist. Eine starke Einengung des Bewußtseins, die speziell auch visuelle Wahrnehmung äußerer Gegenstände betrifft, wird auch von Ach (1910, S. 244) im Zusammenhang mit der experimentellen Erforschung des Willens berichtet.

Neuere Experimente über die selektive Aufmerksamkeit zeigen einen weiteren wichtigen Effekt. Inzidentelle Reize werden zwar nicht oder weniger gut bemerkt, können aber andererseits Interferenzwirkungen entfalten. Entsprechende Phänomene sind in Versuchen mit simultaner Darbietung zweier Nachrichten (s.o.) häufig zu beobachten. Ein Beispiel mag genügen. Hall & Swane (1973) ließ Vpn auditiv gebotene Wörter schattensprechen und testete anschließend das Behalten von simultan gebotenen Farben oder Farbnamen. Es zeigte sich, daß die Farben besser als die Farbnamen behalten wurden und daß die Wiedergabe beider Klassen von Stimuli besser war, wenn die Personen Farbnamen schattensprachen, als wenn sie irrelevante Wörter verfolgten. Das Behalten beider Arten von Stimuli war freilich insgesamt sehr beeinträchtigt. Die visuelle Darbietung rief bezeichnenderweise auch umgekehrt eine Störung des Nachsprechens hervor, die besonders bei den Farbnamen in Erscheinung trat.

Interferenzeffekte zeigen sich weiter auch in einem Typ von Experiment, der von Stroop (1935) eingeführt wurde. Stroop ließ seine Vpn die Farben eines Sets von farb-

gedruckten Wörtern ohne Rücksicht auf die Wörter selbst, die Namen anderer Farben waren, angeben (a), die Wörter ohne Berücksichtigung der Druckfarbe lesen (b), die Namen von Farbgebilden benennen (c) und schwarz gedruckte Wörter lesen (d). Er fand, daß sowohl die Geschwindigkeit als auch die Genauigkeit des Identifizierens unter der ersten Bedingung litten, während die zweite nur geringfügige Effekte erbrachte. Der Effekt wurde vielfältig nachuntersucht und bestätigt (Überblick: Jensen & Rohwer, 1966; Dyer, 1973). Er zeigt sich in schwächerer Form auch in anderen Bereichen, so z.B. wenn Ziffern zu zählen sind. Unter gewissen Umständen unterbleibt jedoch der Interferenzeffekt. Derks & Calder (1969) ließen beispielsweise Personen die Anzahl bestimmen, in der eine bestimmte Farbe auf einer Karte mit Farbgebilden erschien. Es ergaben sich keine Zeitunterschiede zwischen einer Karte, bei der die Stimuli aus farbigen X, und einer Karte, bei der die Gebilde aus irreführenden Farbnamen bestanden. Flowers & Stoup (1977) konnten neuerdings zeigen, daß der Interferenzeffekt zwischen Formen und inkongruenten Formnamen sowie Farben und inkongruenten Farbnamen im Laufe der Übung schwindet, jedoch nur, wenn Wort und Farbe bzw. Form räumlich getrennt sind und keine verbale Nennung der Farbe bzw. Form erforderlich ist.

Die Grenzen der Selektivität der Aufmerksamkeit werden schließlich auch in verschiedenen Experimenten deutlich, bei denen sich Störungen von Gleich-verschieden-Beurteilungen durch irrelevante Dimensionen zeigen (u.a. Egeth, 1966; Pick et alii, 1972; Williams, 1974; Well & Green, 1972).

Wahrnehmung bei negativer Wahrnehmungseinstellung

Orne (1962) berichtet über Hypnose-Versuche mit negativer Instruktion. Hierbei wird eine hypnotisierte Person aufgefordert, einen Gegenstand, etwa einen Stuhl im Raum nicht zu sehen. In dieser Weise beauftragte Personen reagieren verbal, als ob kein Stuhl vorhanden wäre. Wenn sie aufgefordert werden, den Raum zu durchqueren, weichen sie jedoch meist dem Stuhl aus, teilweise sogar dann, wenn sie geradewegs auf ihn zugehen sollen. Aus diesen Reaktionen ist zu schließen, daß sie doch irgendetwas sehen. Die meisten Personen berichten, daß sie während der Trance zwar keinen Stuhl, jedoch einen leeren Raum sahen, der irgendwie noch leerer als der übrige Raum vor ihnen. Bei einem Versuch, den der Verfasser selbst durchführte, erhielten drei Schüler den positiven hypnotischen Auftrag, einen ihrer umstehenden Kameraden nicht zu sehen. Nach den Namen der umstehenden Kameraden befragt, "vergaßen" die Vpn, die fragliche Person zu nennen. Nähere Befragung ergab, daß zwei der Schüler den Betreffenden überhaupt nicht, der dritte hingegen nur "undeutlich, verschwommen" wahrgenommen hatte. Auf die Verwandtschaft dieser hypnotischen Blindheit mit dem Symptom der hysterischen Blindheit (hierzu: Brun, 1954) sei nur kurz hingewiesen.

Die Wahrnehmung irrelevanter Gegenstände scheint bei negativer Wahrnehmungseinstellung nicht beeinträchtigt zu sein.

Fehlwahrnehmungen halluzinatorischer Art

Sensorische Einstellungen führen nicht nur zu einer positiven bzw. negativen Selektivität der Wahrnehmung, sie können auch zu halluzinatorischen Erlebnissen führen.

die der augenblicklichen Reizgrundlage widersprechen. (Zwischen "Halluzinationen" als völlig subjektiven Wahrnehmungserlebnissen und "Illusionen" als falschen Interpretationen der äußeren Realität wird hier nicht genauer unterschieden, da ein völliges Fehlen peripherer Reize die Ausnahme sein dürfte. Vermutlich liegen hier nur unterschiedliche Ausprägungsgrade eines einheitlichen Phänomens vor. Einen Überblick über verschiedene Arten und Vorkommensbereiche von Halluzinationen gibt Bliss & Clark, 1962). Pillsbury (1897) beobachtete bei tachistoskopisch gebotenen Wörtern, die gegenüber bekannten Wörtern mehr oder weniger abgeändert waren, verschiedentlich illusionäre Verkennungen (z.B. chimney anstelle des gebotenen chimnxy). Interessanterweise ergaben sich mitunter auch verschiedene Zwischenformen, etwa dann, wenn Vpn bemerkten, daß irgendetwas falsch war (im obigen Beispiel etwa "some crosses", deren Ort nicht genau angegeben werden konnte). Die Untersuchung enthält verschiedentlich Beispiele, bei denen der Autor klar zwischen den Buchstaben, die tatsächlich gesehen wurden und dem Wort, das genannt wurde, unterscheidet. Diese Beispiele lassen keinen Zweifel, daß hier tatsächlich gelegentlich ein Wahrnehmungsphänomen und nicht nur das Endergebnis eines Rateprozesses vorliegt, der auf einigen wenigen, richtig gelesenen Buchstaben basiert. Siipola (1935) arbeitete teils mit echtem, teils mit entstelltem Wortmaterial, das mit der Instruktion, auf "animals or birds" bzw. "travel or transportation" zu achten, tachistoskopisch geboten wurde. Die Antworten der Vpn fielen sehr deutlich im Sinne der Instruktion aus, jedoch bleibt fraglich, wie weit hier eine echte Wahrnehmungstäuschung vorliegt. Auf die Arbeit von Graumann (1960), in der Strichzeichnungen im Sinne der Instruktion inadäquat aufgefaßt wurden, wurde bereits hingewiesen.

Halluzinationen lassen sich auch auf hypnotischem Wege erzeugen, wenngleich hier stark individuelle Unterschiede vorzuliegen scheinen. Beauftragt, im Trance-Zustand nicht

existente Personen im Sessel gegenüber sitzen zu sehen, haben manche Leute keinerlei halluzinatorische Erlebnisse. Andere berichten von einer sehr lebendigen Vorstellung, die jedoch nicht Wahrnehmungscharakter besitzt. Eine dritte Gruppe von Personen hat Erlebnisse mit Wahrnehmungscharakter, jedoch mit ungewöhnlichen Charakteristiken. So ist es beispielsweise möglich, den Sessel durch die Beine hindurchzusehen. Eine vierte Gruppe berichtet schließlich von Halluzinationen, die völlig ununterscheidbar von echten Wahrnehmungen sind (Orne, 1962).

Eine Reihe älterer Experimente befaßt sich mit der Frage, wie weit reizgebundene Wahrnehmungen, Halluzinationen und Vorstellungen qualitativ verschieden sind. Külpe (1902) warf in einem Dunkelzimmer einen sehr schwachen Lichtschein von quadratischer Form an die Wand, wobei Helligkeit, Größe und Zeitdauer variiert wurden. Seine Vpn wußten nur, daß sie etwas zu sehen bekommen sollten, ohne daß dies jedesmal angekündigt würde. Die Vpn mußten ihre visuellen Eindrücke schildern und dazu angeben, ob sie sie für objektiv (von äußeren Reizen veranlaßt) oder subjektiv hielten. Külpe kommt auf der Basis seiner Ergebnisse zu dem Schluß, daß subjektive (halluzinatorische) und objektive Wahrnehmungen nicht nach immanenten Kriterien unterschieden werden können. Erst das Denken, erst die Beziehung auf bestimmte Kriterien, deren Kenntnis erworben werden muß, macht einen Eindruck subjektiv oder objektiv. Seashore (1895) bot regelmäßig nach einem bestimmten Signal und in bestimmten Zwischenpausen schwache, aber noch wahrnehmbare Reize aus fast allen Sinnesgebieten. Die Regelmäßigkeit der Darbietung führte bei seinen Vpn vielfach auch dann zu halluzinatorischen Erlebnissen, wenn kein Reiz geboten wurde. Dieses Ergebnis erinnert an die Vielzahl geschichtlicher Fälle von Beobachtungshalluzinationen, die von Stumpf (1918) referiert werden: Forscher, deren angestrenzte Aufmerksamkeit auf die Beobachtung einer erwarteten, aber

nicht existenten Erscheinung gerichtet war, nahmen oft Dinge wahr, die durch die Wahrnehmungseinstellung erst produziert wurden. Visuelle Halluzinationen, die sich nicht von der Realität unterscheiden lassen, sind auch aus Versuchen mit sensorischer Deprivation bekannt geworden (u.a. Silverman et alii, 1962; Solomon & Mendelson, 1962; Schaefer & Bernick, 1965; Vernon & McGill, 1962). Perky (1910) zeigte umgekehrt, daß auch existente Eindrücke für nichtexistent erachtet werden können. Er verleitete seine Vpn dazu, sehr schwache, undeutliche Darbietungen bekannter Objekte als bloße Vorstellungen zu halten. Bei diesen Versuchen wurde den Vpn ein Fixationspunkt vorgeschrieben und die Instruktion gegeben, sich ein farbiges Objekt, z.B. einen Paradiesapfel, vorzustellen. Sobald die Vp angab, sich das Objekt vorzustellen, wurde die Aufmerksamkeit kurz abgelenkt und währenddessen das fragliche Bild schwach projiziert. Die 24 Vpn beschrieben sämtlich die Eigenschaften des produzierten Bildes, während sie glaubten, die Merkmale ihrer Vorstellungsbilder zu beschreiben.

Verkürzung der Reaktionszeit und früherer Eintritt

Schon Ach (1910) betrachtete die Zeit, um im Sinne einer vorgegebenen Aufgabe und nicht im Sinne einer assoziativen Tendenz zu reagieren, als Maß für die Stärke einer willkürlichen Einstellung. Woodrow (1914) weist auf, daß die absolute Verlängerung der Reaktionszeit invers mit dem Grad der Aufmerksamkeit respektive sensorischen Einstellung variiert, mit der auf eine Stimulusänderung geachtet wird. Wird beispielsweise die Dauer eines vorbereitenden Intervalls in irregulärer Weise zwischen 4 und 20 Sek. variiert, so läßt die Aufmerksamkeit nach und es resultieren längere Reaktions-

zeiten auf eine leichte Änderung der Intensität visueller Stimuli als bei Verwendung regelmäßiger Zwei-Sekunden-Intervalle (Woodrow, 1916). Mowrer (1940) bestätigt Woodrows Befund, indem er nachweist, daß mit dem Grad der Unregelmäßigkeit eines vorbereitenden Intervalls die Länge der Reaktionszeit ansteigt. Auch er betrachtet diesen Effekt als Folge einer abgeschwächten Erwartung des Stimulus. Alegria (1975) verwendete neuerdings drei verschiedene Verteilungen der Vorperiodendauer, zwei schiefe, bei der eine bestimmte Vorperiodendauer in 80 % der Fälle auftrat, und eine Rechteckverteilung mit gleichen Wahrscheinlichkeiten. Die Ergebnisse zeigen, daß die Reaktionszeiten bei den Vorperiodenzeiten am kürzesten waren, die den Gipfel der schiefen Verteilungen charakterisieren, und je nach Größe der Abweichung von dieser Dauer anstiegen. Die kürzesten Reaktionszeiten erzielte die Kontrollgruppe, bei der eine konstante Vorperiodendauer verwendet wurde. Bei völlig gleichmäßiger Dauer der Vorperiode tendiert die Reaktionszeit gegen Null, was zeigt, daß mehr und mehr auf das bloße Zeitintervall reagiert wird. Durch Einstreuen sog. catch-Tests, bei denen nach dem "fertig"-Signal kein auslösender Reiz geboten wird, lassen sich jedoch solche vorzeitigen Reaktionen verhindern (Woodworth, 1938, S. 298 ff.).

Folgt man diesen Befunden, so scheinen sensorische Einstellungen die Wiedererkennenszeit zu verkürzen. Kritisch betrachtet geben die Reaktionszeitmessungen jedoch keinen sicheren Aufschluß darüber, ob tatsächlich die Erfassenszeit für das Reaktionssignal sinkt. Es ist denkbar, daß eine Einstellung, die in einem solchen Fall ja immer auch motorisch-intentionale Aspekte beinhaltet, nur die Auslösung der motorischen Reaktion oder die motorische Reaktion selbst verkürzt den sensorischen Aspekt aber unbeeinflußt läßt. Es verdient deshalb Interesse, daß bei gleichzeitiger Darbietung zweier kompetierender Stimuli der Reiz, auf den die Vp eingestellt ist, früher wahrgenommen wird (Titchener, 1908). Ein vergleichbarer früherer Eintritt ist auch im akustischen Bereich belegt (Needham, 1934).

Zusammenfassung und Folgerungen

Sensorische Einstellungen führen dazu, daß relevante Inhalte im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen. Entsprechende Inhalte werden mit besonderer Bewußtseinsklarheit und im Sinne der Figur-Grund-Gliederung anschaulich hervortretend erlebt. Der Umfang der Aufmerksamkeit erweist sich dabei als sehr begrenzt; ohne spezielles Training kann die Aufmerksamkeit willkürlich gleichzeitig nur auf einen Gegenstand oder einen Aspekt gerichtet werden. Exzessive Übung ermöglicht möglicherweise eine Spaltung der Aufmerksamkeit. Irrelevante Inhalte werden randbewußter oder überhaupt nicht wahrgenommen, desgleichen Inhalte, in Bezug auf die eine negative Einstellung besteht. Das Vorhandensein irrelevanter Objekte oder Aspekte stört jedoch bis zu einem gewissen Grad die Wahrnehmung relevanter Gegenstände oder Aspekte. Einstellungen können zu halluzinatorischen Fehlwahrnehmungen führen, die keine oder zumindest partiell abweichende Reizgrundlage besitzen und von Real-Wahrnehmungen qualitativ nicht verschieden sind. Einstellungen führen ferner dazu, daß die tachistoskopische Erkennenszeit verkürzt ist und daß bei gleichzeitigem Auftreten kompetierender Stimuli der einstellungsrelevante Stimulus früher ins Bewußtsein tritt.

Der Schlüssel für diese verschiedenen Einstellungswirkungen scheint in den Eigenheiten der Reaktivierung zu liegen. Bisher wurde angenommen, daß die bei erneuter Darbietung eines Musters rezipierte Information die ganze Information weckt, die bei den früheren Darbietungen des Musters gespeichert wurde. Um das Phänomen des kurzfristigen Behaltens erklären zu können, wurde weiter angenommen, daß auch der Wille die Fähigkeit besitzt, Spuren zu aktivieren. Die zweite Annahme ist nun dahingehend zu präzisieren bzw. zu ergänzen, daß der Wille gleichzeitig immer nun eine Spur aktivieren kann, ferner, daß der Wille im Rahmen der Aktivierung gleichzeitig auch eine hemmende Wirkung auf die (afferente) Aktivie-

rung anderer Spuren entfaltet. Diese beiden Annahmen über die Bedingungen des Reaktivierens gestatten eine lückenlose Erklärung der beobachteten Phänomene:

Werden zwei Reize gleichzeitig geboten, so wird die zugehörige gespeicherte Information parallel reaktiviert und nebeneinander bewußt. Da nun nachfolgend weitere kognitive Operationen erforderlich sind (z.B. Feststellen eines Druckfehlers), kommt es entscheidend darauf an, daß die beiden Informationen noch eine gewisse Zeit im Bewußtsein bleiben. Werden nur schwache Reize gewählt wie bei Port, so resultieren nur verschwindend kurze iconische, taktile usw. Nachwirkungen. Die Vp ist in diesem Fall gezwungen, die Information willkürlich länger im Bewußtsein festzuhalten; dies ist aber annahmegemäß nur bei einer der beiden Informationen möglich. Bevor die erste Information fertig verarbeitet ist, ist jedoch die zweite dem Bewußtsein entfallen. Werden intensivere Reize gewählt, resultieren längere Nachbilder, die u. U. lange genug andauern, daß auch noch die zweite Information willkürlich aufgegriffen, festgehalten und verarbeitet werden kann. Entsprechend ist im ersten Fall nur die Wiedergabe eines Reizes möglich, während im zweiten Fall beide Reize reproduziert werden können.

Liegt bei Suchexperimenten ein gleichbleibendes Set von Zielitems vor, so wird dieses Set als Ganzes gelernt und kann als Ganzes willkürlich reaktiviert werden, während die Aktivierung anderer Spuren bis zu einem gewissen Grad gehemmt wird. Die Wahrnehmung ist in diesem Fall selektiv auf das entsprechende Set eingestellt. Gerät nun ein Mitglied des Sets in den Empfangsbereich der Sinne, wird es in gleicher Weise erkannt, ob das betreffende Set nun groß oder klein ist. Entsprechend kann nach mehreren Zielmustern gleich schnell gefahndet werden wie nach einem. Wechselt hingegen die Zusam-

mensetzung des Sets von Durchgang zu Durchgang, so kann keine ganzheitliche Spur gebildet und im Vorgriff aktiviert werden. Die Willkür kann in diesem Fall die einzelnen Zielmuster nur einzeln im Gedächtnis abfragen.

Die nach langer Übung mögliche Ausführung von Doppelleistungen läßt sich schließlich durch weitgehende Automatisierung wenigstens einer Leistung erklären. Es ist anzunehmen, daß in diesem Fall nicht nur die Reaktivierung der jeweils gespeicherten Information, sondern auch die weitere Verarbeitung bis hin zur motorischen Reaktion automatisch, d.h. ohne Eingriff des Willens erfolgt. Da auch bei automatischer, afferenter Reaktivierung mnestische Erregungen auftreten, ist verständlich, daß auch in diesem Fall die nicht von willkürlicher Aufmerksamkeit begleiteten "Zweit"-Erlebnisse gelernt werden.

Die besonders lebendige, klare Wahrnehmungsqualität von Einstellungsinhalten kommt dadurch zustande, daß zwei reaktivierende Faktoren, der afferente und der willkürliche, zusammenwirken. Das Nichtsehen irrelevanter Inhalte ist Folge der gleichzeitigen Hemmung anderer Spuren. Bei den hierbei häufig zu beobachtenden Interferenzeffekten mißglückt die Hemmung partiell, und die ungewollt afferent reaktivierte Information setzt sich auf eine nicht näher bekannte Weise (vergl. Treisman & Fearnley, 1969; Dyer, 1973) störend im Verhalten durch. Eine negative Einstellung besteht gleichfalls, physiologisch betrachtet, in einer Hemmung der Aktivität fraglicher Spuren.

Eine Halluzination kommt zustande, wenn sich die Summe der Faktoren, die zur Reaktivierung inadäquater mnestischer Information führen, gegenüber der Summe der Faktoren, die zu einer adäquaten Reaktivierung führen würden, als stärker erweist. Die irreführenden Reaktivierungseinflüsse können dabei teils afferenter, teils willkürlicher bzw. motivationa-

ler Natur sein. Im Experiment von Pillsbury ist davon auszugehen, daß die Vpn aufgrund früherer Erfahrungen über Spuren geläufiger Wörter verfügen. Diese Spuren werden bei den tachistoskopischen Testdarbietungen nur mehr oder weniger lückenhaft aktiviert; die Lücken in der rezipierten Information können sich dabei zufällig auf den entstellten Teil des jeweiligen Wortes erstrecken. Die Aktivierung breitet sich innerhalb der Grenzen der Spur aus, wodurch auch nicht direkt aktivierte Teile der Spur in den Erregungsprozeß mit einbezogen werden. Das resultierende mnestiche Erregungsmuster entspricht der bisherigen Erfahrung und gestattet die illusorische Wahrnehmung eines korrekt geschriebenen Wortes. Wird bei der Darbietung jedoch auch Information über den abgeänderten Teil des Wortes rezipiert, sind korrekte Identifizierungen oder Kompromißbildungen zu erwarten.

Illusionen im Gefolge der Wahrnehmung initialer Glieder einer regelhaften Sequenz lassen sich auf ähnliche Weise erklären (vergl. den Versuch von Graumann). Auch hier wird eine übergreifende Spur, eine Spur für die Ereignissequenz als Ganzes, gebildet und als Ganzes durch die initialen Glieder der Sequenz aktiviert. Die reaktivierte Information für die Endglieder der Sequenz kann sich, speziell wenn nicht eindeutige Stimuli folgen, in der Wahrnehmung durchsetzen. Bei hypnotischen Halluzinationen ist zusätzlich zur sprachlichen afferenten auch motivationale Reaktivierung anzunehmen.

Die Verkürzung der tachistoskopischen Erkennenszeit und der frühere Eintritt lassen sich gleichfalls durch die indirekt reaktivierende Wirkung der Darbietung der initialen Glieder einer bekannten Sequenz erklären: Ist eine Sequenz als Ganzes gespeichert, so führt die Aufnahme von Information über die initialen Glieder der Sequenz dank der Erregungsausbreitung innerhalb der Grenzen einer Spur zu einer im Vorgriff erfolgenden Reaktivierung von Information über die nachfolgenden Glieder. Über die Endglieder braucht ent-

sprechend nicht mehr so viel Information rezipiert werden; die Latenzzeit der Wahrnehmung ist entsprechend verkürzt.

Für die besondere Bedeutung von Reaktivierungsbedingungen für das Zustande-Kommen von halluzinatorischen Erlebnissen spricht schließlich auch ein Versuch, der vom Verfasser selbst durchgeführt wurde. Ein dreizehnjähriger Jugendlicher wurde in ein Versuchszimmer geführt, in dem sich "zufällig" auch ein Käfig mit einem Hamster befand. Nachdem dem Buben kurz Gelegenheit gegeben wurde, sich mit dem Hamster zu beschäftigen, wurde die Vp hypnotisiert und erhielt den Auftrag, nach dem Wiedererwachen den Hamster auf einem komplizierten Weg durch das Versuchs- und angrenzende Zimmer laufen zu sehen. Unterdessen wurde der Hamster aus dem Käfig entfernt. Nach dem Aufwecken der Vp geschah zunächst nichts, bis der Vl "überrascht" das Fehlen des Hamsters bemerkte. Der Junge sprang auf und folgte mit Blick und Körper dem angegebenen Weg des nichtvorhandenen Hamsters. Spontane Ausrufe, Ausdrucksverhalten und eine nachfolgende Befragung ließen keinen Zweifel, daß er das Tier wirklich sah. Es fiel aber auf, daß sich der halluzinierte Hamster mit ungewöhnlich hoher Geschwindigkeit fortbewegte. - Man kann hier annehmen, daß der posthypnotische Auftrag die Spur eines laufenden Hamsters aktivierte, so daß der Jugendliche den Hamster sah. Dieses Sehen lief aber dauernd Gefahr korrigiert zu werden, wenn zuviel afferente Information die Reaktivierung adäquater Information erzwingen sollte, war aber umgekehrt leicht möglich, wenn präzisere Information - etwa infolge der Blickwanderung - fehlte. So oft nun der Jugendliche versuchte, das Tier zu fixieren, setzte sich die richtige afferente Information in der Wahrnehmung durch, die keinerlei Hinweis auf das Tier enthielt. Es konnte folglich nur weitergelaufen sein, was er dann auch sah, wenn er den Blick weiterlenkte. Da sich die auftragskonforme Wahrnehmung umso besser durchsetzen konnte, je weniger afferente Information aufgenommen wurde, "lief" der Hamster sehr schnell.

ZUR PHYSIOLOGIE DES WIEDERERKENNENDEN WAHRNEHMENS

In den Folgerungen, die im Anschluß an die Zusammenfassung der einzelnen vorangehenden Kapitel gezogen wurden, wurde auf der Basis psychologischer Fakten eine Reihe von Hypothesen über zugrundeliegende zentralnervöse Prozesse aufgestellt. Im folgenden Kapitel sollen die wichtigsten Ergebnisse physiologischer Untersuchungen über das visuelle Wahrnehmen und Behalten in gebotener Kürze referiert werden. Auch diese Ergebnisse geben in der Regel keinen direkten Einblick in das zentralnervöse Geschehen, das dem wiedererkennenden Wahrnehmen zugrundeliegt, sondern stellen nur anders geartete Bausteine desselben theoretischen Puzzles dar.

Über den Aufbau und die Funktion des visuellen ZNS geben vor allem anatomisch-histologische Befunde, Aufzeichnungen der Entladungen einzelner Zellen im Gefolge bestimmter visueller Reize, Berichte über die subjektiven und objektiven Folgen verschiedener Hirnläsionen und Berichte über die subjektiven Folgen von elektrischen Reizungen der Hirnoberfläche Aufschluß. Untersuchungen über von der Kopfhaut abgeleiteter, Ereignis bezogener Potentiale (ERPs) wurden ausgeklammert, da sie zu wenig spezifische Ergebnisse für das visuelle Wiedererkennen erbringen. Einen Überblick über die wichtigsten Befunde auf diesem Forschungsgebiet gibt John & Schwartz (1978). Zwei abschließende Abschnitte befassen sich mit dem spezielleren Problem der physiologischen Grundlage des visuellen Behaltens.

Der anatomische Aufbau des visuellen ZNS

Die Sehbahn verläuft von der Retina zunächst zum Chiasma opticum, wo sich die nasalen Fasern kreuzen, während die temporalen Fasern im gleichseitigen Tractus opticus wei-

terziehen. Die Fasern aus dem Macula-(Fovea-)Gebiet kreuzen teils, teils ziehen sie ungekreuzt weiter. Der Tractus opticus verläuft weiter zum Corpus geniculatum laterale, wo er endet. Die Neuriten dieses Thalamuskern ziehen zum kleineren Teil als Tractus geniculotectalis zum Colliculus superior, zum größeren Teil als Gratiolet'sche Sehstrahlung in die Area striata. Von diesem primären Projektionsfeld ziehen umgekehrt wieder Verbindungen, die sog. Fasciculi corticothalamici zurück zum Thalamus. Andere Bahnen, die sogenannten Assoziationsfasern, werden verschiedensten Rindengebieten zugeleitet (im einzelnen hiezu: Waldeyer, 1975). Die Retina ist im Corpus geniculatum laterale und in der Area striata topographisch repräsentiert (Holmes, 1945). Darüber hinaus ist wahrscheinlich, daß zumindestens bei der Katze die Retina ein zweites und drittel Mal in den angrenzenden Gebieten 18 und 19 der Brodman'schen Einteilung topographisch abgebildet ist (Talbot & Marshall, 1941; Hubel & Wiesel, 1965). Hubel & Wiesel konnten dabei speziell nachweisen, daß ein gegebener kleiner Ausschnitt des Gebietes 17 kortikale Projektionen in wenigstens drei umschriebene Gebiete derselben oder der gegenüberliegenden Hemisphäre entsendet, eine in die Region 18, eine in die Region 19 und eine in die benachbarte suprasylvische Windung. Zumindest die Region 18 empfängt dabei auch Fasern vom Corpus geniculatum laterale (Stone & Dreher, 1973). Weiter ist bekannt, daß auch die untere Windung des Temporallappens über dazwischenliegende Synapsen in den genannten Gebieten visuellen Input empfängt, sowie vom Pulvinarkern des Thalamus versorgt wird, der seinerseits Projektionen vom Colliculus superior empfängt (Gross, 1973).

Die Retina selbst weist bereits drei hintereinandergeschaltete Neurone, die Stäbchen bzw. Zapfenzellen, die Bipolaren und die Ganglienzellen, sowie horizontal verbindende Horizontalzellen und Amakrinezellen auf. Werblin (1973) macht wahrscheinlich, daß diese Schaltung ausschließlich dem

Zwecke dient, den Empfindlichkeitsbereich der Retina an die durchschnittlich herrschende Lichtintensität anzupassen und gleichzeitig Lichtkontraste besonders gut hervortreten zu lassen.

Das Corpus geniculatum laterale zeigt mikroskopisch einen Feinaufbau aus sechs Lagen grauer Substanz, die durch feine Marklamellen getrennt sind. Es ist Teil des Thalamus, eines Kerngebiets des Zwischenhirns, in dem sämtliche somatosensiblen und sensorischen Bahnen der Peripherie (mit Ausnahme der Riechbahnen, die direkt zur Rinde ziehen) umgeschaltet und über die verschiedenen fasciculi thalamocorticales, darunter die Sehstrahlung, an die verschiedenen Rindenfelder weitergeleitet werden.

Die verschiedenen Rindenfelder werden hinsichtlich ihres Feinaufbaus meist in sechs Schichten eingeteilt, die verschiedene Pyramiden- und Körnerzellen aufweisen. Die meisten Verbindungen zwischen den Zellen bestehen in vertikaler Richtung, so daß vertikale Säulen entstehen, doch existieren auch vielfältige tangentielle Verbindungen, insbesondere in der ersten Schicht. Die spezifische Anordnung der verschiedenen Zellen, die Art ihrer dendritischen und axonalen Verästelung und die Art ihrer synaptischen Verbindungen ist relativ gut bekannt (siehe im einzelnen Colonnier, 1966). Die Art der Erregungsausbreitung innerhalb einzelner Zellen und Zellgruppen des Cortex oder des Thalamus ist vielfach erforscht (Überblick: Eccles, 1966 a). Einzelne neuronale Schaltungen wurden herausgearbeitet (hierzu Granit, 1966) und Unterschiede der Zellaktivität auf den verschiedenen Stufen der visuellen Verarbeitung festgestellt (Creutzfeldt et alii, 1966).

Das Verhalten einzelner kortikaler Zellen bei Darbietung spezifischer visueller Reize

Trotz vielfältiger Einzelbefunde bleibt die genaue Funktionsweise des Corpus geniculatum laterale, der Area striata und der angrenzenden Gebiete weitgehend undurchsichtig. Einen wichtigen Einblick gewährt jedoch die Untersuchung des Verhaltens einzelner Zellen mittels Mikroelektroden. Hubel & Wiesel haben aufgrund ihrer Befunde wahrscheinlich gemacht, daß innerhalb der vorgegebenen anatomischen Struktur eine funktionale Architektur von Zellen besteht, die die retinale Information in mehreren Stufen auswerten. Dabei scheint jeweils eine Zelle der nächsthöheren Stufe die Information einer Gruppe von Zellen der untergeordneten Stufe auszuwerten. Die Information der jeweils einfacheren Zellen kann wahrscheinlich mehrfach genutzt werden; untergeordnete Zellen besitzen also nicht nur eine, sondern mehrere übergeordnete Zellen. Sog. Zellen mit konzentrischem rezeptiven Feld reagieren optimal auf einen Lichtfleck bestimmter Größe und bestimmter retinaler Lage. Sie finden sich bereits in den Rezeptorzellen, den bipolaren Zellen und den Ganglienzellen der Netzhaut (Hubel & Wiesel, 1960; Werblin, 1973) und im Corpus geniculatum laterale (Hubel & Wiesel, 1961). Sog. Zellen mit simplem rezeptiven Feld reagieren maximal auf geradlinige Stimuli, die aus einem hellen oder dunklen Balken mit dunkler bzw. heller Umgebung oder einer Kante, die Hell und Dunkel trennt, bestehen können; die Stimuli müssen sowohl an einer bestimmten retinalen Stelle, als auch in einer bestimmten Orientierung erscheinen. Sie finden sich in der Area striata. Man kann sinnvollerweise annehmen, daß jede simple kortikale Zelle ihren Input direkt von einer spezifischen Gruppe von Zellen im Corpus geniculatum laterale bezieht (Hubel & Wiesel, 1959; 1962). Sog. Zellen mit komplexem rezeptiven Feld reagieren am stärksten auf gerade helle oder dunkle Lichtbalken oder -Kanten in spezifischer Orientierung, jedoch relativ unabhän-

giger retinaler Lage. Sie verhalten sich, als erhielten sie ihren Input von einer jeweils spezifischen Gruppe von einfachen Zellen. Sie finden sich zusammen mit simplen Zellen in säulenförmigen Einheiten, die durch einheitliche Orientierung der Achse des rezeptiven Feldes und ähnlicher retinaler Position gekennzeichnet sind, in der Area striata (Hubel & Wiesel 1962); komplexe Zellen bilden ferner die Mehrzahl der Zellen im Gebiet 18 und stellen etwa 50 % der Zellen im Gebiet 19. Sog. hyperkomplexe Zellen einfacherer Art bilden 5-10 % der Zellen im Gebiet 18 und etwa 50 % der Zellen im Gebiet 19. Diese Zellen reagieren gleichfalls auf einen Licht- oder Schattenbalken oder eine Lichtkante bestimmter Orientierung, jedoch erweist sich die Länge des Stimulus in einer oder beiden Richtungen als kritisch. Sie verhalten sich, wie wenn mehrere komplexe Zellen zusammengeschaltet sind, von denen ein Teil erregend, der andere hemmend wirkt. Ähnlich wie im Gebiet 17 finden sich auch im Gebiet 18 säulenförmige Einheiten, die hier jedoch komplexe und hyperkomplexe Zellen mit gemeinsamer Orientierung des rezeptiven Feldes enthalten. Im Gebiet 19 finden sich Säulen mit Zellen, die teils eine bestimmte, teils eine um 90 Grad veränderte, teils beide Orientierungen des rezeptiven Feldes besitzen. Die letzte Gruppe wird dabei als hyperkomplexe Zellen höherer Ordnung bezeichnet, da sie offenbar von zwei oder mehr hyperkomplexen Zellen einfacherer Art gespeist werden. Komplexere Zellen erweisen sich ferner in der Regel als sehr empfindlich in Bezug auf Bewegungen in spezifischer Richtung.

Neuere Untersuchungen (Überblick: Robson, 1975) erbrachten einige wichtige Ergänzungen. So lassen sich die Ganglienzellen der Retina nicht nur nach ihrer "on"- und "off"-Charakteristik unterscheiden, sondern auch danach, ob sie bei stufenförmiger Änderung der Lichtstärke anhaltend ("X-Zellen") oder nur vorübergehend ("Y-Zellen") reagieren. Daneben existieren

ren noch weitere Zellen ("W-Zellen") mit Sonderfunktionen; zu ihnen gehören speziell Zellen, die auf in bestimmter Richtung bewegte Objekte ansprechen. Weiter sind die quantitativen Aspekte der Entladung von Ganglienzellen, die Größe ihrer rezeptiven Felder und ihre Anordnung bzw. Dichte im einzelnen näher untersucht worden. Die Zellen im Corpus geniculatum laterale verhalten sich im großen und ganzen ähnlich wie die Ganglienzellen und lassen sich wie diese klassifizieren. Obwohl die Zellen hier in Schichten geordnet sind, die alternativ nur von einem Auge versorgt werden, ließ sich binokulare Interaktion nachweisen. Die meisten Zellen im Kortex können binokular erregt werden, dabei zeigt sich eine bemerkenswerte Streuung der optimalen Disparität der rezeptiven Felder. Untersuchungen mit wandernden, sinusförmig an- und abschwelenden Schattengittern anstelle von stationären Stimuli zeigen, daß visuelle Neuronen nicht nur selektiv auf die Richtung, sondern auch auf die räumliche Frequenz (Zyklen pro Grad) ansprechen (hierzu insbesondere: Glezer et alii, 1973; Pollen & Ronner, 1975). Dies gab zu Überlegungen Anlaß, den visuellen Kortex als Analysator für räumliche Frequenzen zu begreifen.

Einzelzellableitungen ergaben weiter, daß Neuronen im unteren Teil des Schläfenlappens ausschließlich auf visuelle Stimuli reagieren. Sie besitzen große, bilateral rezeptive Felder, die immer auch die Fovea einschließen, und reagieren auf sehr unterschiedliche Stimuli: Quadrate, Balken, Kreise oder sogar so hochkomplexe Stimuli wie eine Affenhand oder die Photographie eines Gesichtes. Verschiedentlich erweisen sich dreidimensionale Objekte als bessere Stimuli als ihre zweidimensionalen Abbilder (Gross et alii, 1972). Der optimale Stimulus für eine Zelle erwies sich dabei fast immer für den ganzen Bereich des rezeptiven Feldes als optimal. Fast alle Neuronen reagierten am besten oder sogar ausschließlich auf bewegte Stimuli. Etliche Neuronen erwiesen sich als spezifisch farbsensitiv.

Die Funktion des zweiten, kleineren visuellen Projektionssystems (Retina - Corpus gen. lat. - Colliculus sup.) scheint nach Einzelzell-Aufzeichnungen bei Affen mit der visuellen Steuerung der Augenbewegungen zusammenzuhängen (Schiller & Stryker, 1972). Dazu paßt, daß der Colliculus superior der Katze speziell Signale von retinalen Ganglien empfängt, die auf Bewegung ansprechen, während Signale von Ganglienzellen, die räumliche Information vermitteln, hauptsächlich ins Sehzentrum geleitet werden (Cleland & Levick, 1974 a,b).

Die Ergebnisse der Einzelzellableitungen scheinen letztlich ein hierarchisches System von Zellen zu implizieren, die auf immer spezifischere Merkmalskombinationen reagieren; die Zellen an der Spitze der Pyramide würden dabei komplette Wahrnehmungsinhalte repräsentieren. Ein derartiges hierarchisches System scheint aus verschiedenen experimentellen und logischen Gründen jedoch unwahrscheinlich (vergl. John & Schwartz, 1978, S. 3 ff.). Am schwersten wiegt wohl das Argument, daß Zellen höherer Komplexität in multivariater Weise reagieren. Wie aber sollte es beispielsweise möglich sein, aus der Entladungsfrequenz eines einzelnen Neurons zu bestimmen, ob ein stark kontrastierender Rand in "schlechter" Orientierung oder ein weniger stark kontrastierender Rand in einer günstigeren Orientierung, oder ob ein kurzer, mit hoher Geschwindigkeit in ungünstiger Richtung bewegter Winkel oder ein langer, langsam in günstiger Richtung bewegter Winkel im visuellen Feld vorhanden ist?

Es verdient jedoch Interesse, daß gewissen Zellen die Funktion sog. Angeborener Auslösemechanismen (Lorenz, 1935, 1938; Tinbergen, 1963) zuzukommen scheint. Lettvin et alii (1959) leiteten beispielsweise die elektrischen Potentiale einzelner Fasern des Nervus opticus nicht anästhesierter Frösche ab. Sie fanden u.a., daß eine Art von Fasern antwortet, wenn ein kleines dunkles Objekt das rezeptive Feld betritt oder sich über es wegbewegt. Bleibt das Objekt stationär im Feld, erfolgen Dauerreaktionen. Es scheint denkbar, daß hier eine Art Wanzen- oder Fliegendetektor vorliegt. Vergleichbare Beobachtungen liegen auch aus dem akustischen Bereich vor. Leppelsack & Vogt (1976) untersuchten die kritischen Stimuli für 129 Neurone im Hörzentrum von Staren. Sie fanden neben Neuronen, die als Filter für einen einzelnen Parameter (z.B. Frequenz, Frequenz-Bandbreite etc.) fungierten, und Neuronen, die auf bestimmte Parameterkombinationen (z.B. best. Frequenzmischung) ansprachen, Zellen, die nur auf einen ganz konkreten natürlichen Laut antworteten. Da nun aber angeborene Auslöseschemata in gewisser Weise genetisch vorgegebenen Gedächtnisinhalte darstellen, liegt der Gedanke nahe, daß auch individuell erworbene Gedächtnisinhalte dem genetischen Modell folgen. Mit anderen Worten, es wäre denkbar, daß auch die individuelle Kenntnis von Formen dadurch gespeichert wird, daß ein geeigneter Satz von Form- und Farb-Zellen eine "mnestische" Zelle speist, die dann praktisch als Code für eine komplexere Form, wie z.B. ein individuelles Gesicht, dient. Lernen würde nach dieser Auffassung im Wachsen von mnestischen Zellen oder in einer Inbetriebnahme bisher nicht belegter Zellen oder dergleichen bestehen. Eine derartige kortikale Organisation würde jedoch wiederum ein strenghierarchisches System implizieren, das aus den bereits genannten Gründen unwahrscheinlich ist. Denkbar scheint vielmehr, daß ein solcher auf die Spitze getriebener Aufbau die arteigene, angeborene Kenntnis gewisser Stimuli ermöglicht, während individuelle Kenntnisse auf einem anderen, "demokratischeren" Weg erworben werden.

Hirnläsionen, Wahrnehmungen und Behalten

Wichtige Aufschlüsse über die Physiologie des wiedererkennenden Wahrnehmens geben weitere Untersuchungen über die Folgen verschiedener Hirnläsionen. Es zeigt sich dabei eine bemerkenswerte Abhängigkeit der Wahrnehmung und des Behaltens vom Ort und dem Ausmaß der Schädigung.

Die Schädigung visueller Bahnen

Gjerris (1976) gibt einen Überblick über die Folgen von Verletzungen der Sehbahnen. Eine einseitige Verletzung des Sehnerven vor dem optischen Chiasma führt je nach Verletzung zu einer größeren oder kleineren, meist irreperablen Blindheit. Schädigungen des optischen Chiasma selbst äußert sich in einer zweiseitigen Hemianopsie, die je nach Richtung der Durchtrennung die beiden temporalen oder nasalen Gesichtsfelder betrifft. Zerstörung des anschließenden optischen Traktes führt zu homonymer, oft nicht völlig kongruenter Hemianopsie. Klinische Berichte über die Folgen einer alleinigen Zerstörung des Corpus geniculatum laterale fehlen. Einseitige Zerstörung der anschließenden Sehstrahlung führt zu homonymer Hemianopsie oder bei nur partieller Schädigung zu umschriebenen, homonymen Scotomata. Die Sehausfälle folgen damit dem Muster, das sich aufgrund des bekannten Verlaufs der einzelnen optischen Fasern erwarten läßt. Die naheliegende Folgerung, daß punktuelle Einzelinformationen nur einfach in die Projektionsfelder geleitet und dort "gesehen" werden, erweist sich gleichwohl als falsch. Auch nach Entfernung der Area striata ist eingeschränktes Sehen möglich.

Schädigungen des Okzipitallappens

Einen knappen Gesamtüberblick über die Folgen von Schädigungen der Sehsphäre gibt Teuber (1960; vergl. auch Neff, 1960). Eine Zusammenfassung der vielfältigen älteren Tierversuche findet sich bei Smith (1937) und Galambos & Morgan (1960). Neuere klinische Fallberichte über okzipitale Hirnverletzungen bei Menschen faßt Gjerris (1976) zusammen. Im folgenden seien nur einige wichtige Schlüsseluntersuchungen genannt.

Untersuchungen über die totale Abtragung der Area striata bei verschiedenen Tieren (Ratten, Katzen, Hunde, Affen u.a.) erbringen übereinstimmende Ergebnisse. Tiere, die entsprechend präpariert wurden, können nach der Operation wie normale Tiere totale Helligkeiten unterscheiden lernen. Tiere, die vor der Operation eine Helligkeitsunterscheidung erlernten, lassen die Fähigkeit zur Unterscheidung nach der Operation ganz oder teilweise vermissen. Die Helligkeitsunterscheidung kann jedoch in der gleichen Anzahl der Durchgänge erlernt werden, wie vor der Operation. Erst eine zusätzliche schwere Schädigung des optischen Thalamus macht das Wiedererlernen unmöglich (siehe insbesondere Lashley, 1935). Die Zerstörung der Area striata führt jedoch zu einem völligen Verlust der Formwahrnehmung. Ratten erwiesen sich beispielsweise auch bei langwieriger Übung als unfähig, Formen wie Dreiecke, Kreise, Quadrate etc. zu unterscheiden (Lashley, 1931). Klüver beobachtete bei entsprechend präparierten Affen, daß sie zwar das dunklere von zwei gleich großen Zielen zu meiden erlernen können, jedoch nicht die Unterscheidung zwischen Dreieck und Kreis, horizontalen und vertikalen Streifen oder zwischen zwei Flächen, von denen die eine halb so groß, aber doppelt so hell ist wie die andere. Die Tiere laufen auch bezeichnenderweise gegen Hindernisse oder sitzen stundenlang in ihren Käfigen, obwohl die Tür weit offen steht (Klüver, 1936).

Weiskrantz (1963) entdeckte neuerdings per Zufall eine erhalten gebliebene Fähigkeit, die nicht unbedingt Formwahrnehmung implizieren muß, aber immerhin eine gewisse Organisation des Wahrnehmungsfeldes vermuten läßt: Affen können zwischen grob gestreiften Flächen und gleich hellen, gesprenkelten Flächen unterscheiden. Farbunterscheidungen sind nach beidseitiger Abtragung des visuellen Kortex gleichfalls nicht mehr möglich.

Die ausschließliche Entfernung der an die primären Projektionsfelder angrenzenden sog. Assoziationsfelder beeinträchtigt das Lernen und Behalten von Formen nur wenig. Werden umfassendere Abtragungen vorgenommen, die sich auch auf parietale und temporale Bereiche erstrecken, leidet die Formunterscheidung stärker.

Partielle Abtragung der Area striata ermöglicht auch nach der Operation eine vorher erlernte Helligkeitsunterscheidung, so lange nur ein geringer Teil der Sehsphäre erhalten blieb (Lashley, 1935). Geringe Überreste gestatten auch eine Unterscheidung einfacher Formen. Lashley (1939) konnte beispielsweise zeigen, daß nach Belassen von nur etwa 2% des gestreiften Kortex die Unterscheidung zwischen Balken und Dreiecken unterschiedlicher Orientierung wieder erlernt und auf Streifen bzw. kleinere Dreiecke transferiert werden konnte.

Totale Zerstörung des visuellen Kortex beim Menschen führt zu sog. Rindenblindheit. Neff (1960) macht jedoch darauf aufmerksam, daß entsprechende klinische Fallberichte Zweifel offen lassen, ob die Blindheit wirklich total ist oder ob nicht wie bei Tieren durch Training Unterscheidungen auf der Basis der bloßen Lichtintensitäten nachgewiesen werden könnten. Interesse verdienen hier auch Berichte über vorübergehende kortikale Blindheit als Folge von Verletzungen im geschlossenen Schädel. Typisch ist hier eine kurze Zeit der Bewußtlosigkeit, die von normalem, Stunden und Tagen

dauerndem Sehen und schließlich von Blindheit gefolgt ist. Diese Blindheit wird als Eindruck von Dunkelheit beschrieben, die gelegentlich von Halluzinationen (Streifen, Punkte, Schneien) unterbrochen wird. Es folgt eine Periode, in der der Patient Licht ohne Form und Richtung wahrnehmen kann. Später wird bewegtes und stationäres Licht, dann vage Konturen und schließlich auch Farben gesehen (Gjerris, 1976).

Über die Folgen einer partiellen Zerstörung des Okzipitalhirns geben insbesondere Studien über eine größere Anzahl von Personen Aufschluß, die im Krieg durch Kopfschuß verletzt wurden (Poppelreuter, 1917; Teuber et alii, 1960). Partielle Zerstörung des visuellen Kortex führt nach diesen Berichten nach vorübergehender kortikaler Blindheit zu bleibenden Skotomata, d.h. begrenzten Gesichtsfeldausfällen. Der verbleibende Sehbereich zeigt bei genauerer Untersuchung gewisse kleinere Einbußen, so z.B. Beeinträchtigung des tachistoskopischen Erkennens, schnelleres Verblassen von Konturen oder Nachlassen des Bewegungssehens. Auffällig sind weiter gewisse Ergänzungsphänomene. Die umgrenzten, mit perimetrischen Methoden leicht nachweisbaren Skotomata fallen dem Wahrnehmenden meist gar nicht auf: er sieht nicht einen dunklen Bereich in seinem Wahrnehmungsfeld, sondern merkt lediglich eine gewisse Reduktion seiner Sehschärfe. Flächen und Konturen wie z.B. gleichfarbige Oberflächen, gerade Linien, Gittermuster oder Fischgrätmuster sind über den Bereich des Skotomas ergänzt. Schließlich fallen noch gewisse Verdunklungs- und Lösungsphänomene auf. Wenn ein Muster in einem leicht beeinträchtigten Bereich des visuellen Feldes geboten wird, dann wird es wahrgenommen, so lange der Hintergrund relativ homogen ist. Wird nun ein zweiter, weniger beeinträchtigter Bereich gleichzeitig durch ein zweites Muster stimuliert, so wird das erste Muster undeutlicher oder verschwindet ganz (Bender, 1952).

Schädigungen des Parietallappens

Teuber (1966) berichtet vom Fall eines Patienten; der als 17-jähriger im Korea-Krieg eine faustgroße Verletzung des Scheitellappens erhielt. Der Patient konnte jahrelang sein Bett im Hospital nicht finden, zog seinen Hausmantel verkehrt an usw. Im Laufe der Zeit besserte sich aber die visuelle Agnosie so weit, daß der Betreffende einen hohen Posten in der Verwaltung bekleiden kann und nur mehr in speziellen Tests Defizite zeigt. Bei einem solchen Test müssen die Probanden nach einer visuellen oder taktilen Landkarte neun Punkte in einem Raum in der aufgezeichneten Reihenfolge abgehen. Es zeigen sich hier bei Patienten mit Parietallappen-Verletzung besonders schwache Leistungen gegenüber Patienten mit anderen Hirnläsionen.

Schädigungen des Temporallappens

Eine Verletzung oder Entfernung der Schläfenlappen führt zu einer Unfähigkeit, neue Ereignisse dauerhaft zu behalten; das kurzfristige Behalten ist dagegen kaum beeinträchtigt. Das Altgedächtnis ist weitgehend erhalten. Die Erstuntersuchung von Scoville (1954, vergl. auch 1968) zog eine Reihe von Veröffentlichungen nach sich, in denen der von Scoville beschriebene Patient (bilaterale Entfernung der Schläfenlappen und Hippocampi) in verschiedener Hinsicht genauer untersucht wurde (Scoville & Milner, 1957, Milner, 1962; 1965; 1966; Corkin, 1965; 1968; Wickelgren, 1968; Milner et alii, 1968). Die Untersuchung weiterer Fälle (Überblicke bei Milner, 1972, und Isaacson, 1972) bestätigte die ursprünglichen

Ergebnisse. Ein typischer Patient kann beispielsweise eine dreiziffrige Zahl oder ein beziehungsloses Wortpaar minutenlang behalten, wenn er zwischendurch nicht abgelenkt wird, und kann sich an Ereignisse, die einige Zeit vor seiner Operation eintraten, gut erinnern. Er ist aber unfähig sich zu merken, daß er eben schon gegessen hat oder eine neue Adresse besitzt. Die anterograde Amnesie betrifft speziell auch die Reproduktion und das Wiedererkennen eben erfahrener visueller Reize (Kimura, 1963; Milner, 1965, 1970; Drachman & Arbit, 1966; Warrington & Taylor, 1973; Warrington, 1974). Warrington & Weiskrantz (1970, 1971) neigen hier zu der Ansicht, daß weniger die Konsolidierung von Spuren als ihre Reaktivierung beeinträchtigt ist. Sie stützen sich dabei einerseits auf den Befund, daß bei Darbietung von Fragmenten oder Anfangsbuchstaben von Wörtern normale Wiedererkennungseleistungen für vorher visuell oder akustisch gebotene Wörter erzielt werden können, andererseits keine qualitativen (wohl aber quantitative) Unterschiede zu Normalpersonen resultieren, wenn Organisationsfaktoren ins Spiel gebracht werden. Das visuelle Gedächtnis scheint im übrigen speziell an den linken Temporallappen gebunden zu sein (Jones, 1974).

Tierexperimente zeigen noch deutlicher die Bedeutung des Schläfenlappens und gestatten eine genauere Lokalisierung. Dean (1976) gibt eine Zusammenfassung der vielfältigen Befunde. Affen mit beidseitiger Entfernung der **u n t e r e n** Temporalwindung zeigen eine massive Beeinträchtigung des Erlernens visueller Unterscheidungen (Objekte, Muster, Orientierung, Größe, Farbe) und des Behaltens voroperativ erlernter Unterscheidungen. Klüver & Bucy (1939) beobachteten beispielsweise, daß entsprechend geschädigte Tiere visuell nicht zwischen genießbarer und ungenießbarer Nahrung unterscheiden können, sondern alle gebotenen Gegen-

stände, darunter auch lebende Schlangen, die sie normalerweise in Panik versetzen, zur Geschmacksprüfung zum Mund führen. Eine präoperative Unterscheidung zwischen Kreis und Quadrat war nach der Operation verloren, konnte aber wiedererlernt werden. Ein Affe, der erst nach der Operation dem Training unterzogen wurde, erlernte die Unterscheidung nur mit Mühe nach hunderten von Durchgängen. Der Lern- und Behaltensdefekt tritt im allgemeinen umso stärker auf, je schwieriger die zu bewältigende Aufgabe ist, unterbleibt jedoch bei nur einseitiger Ablation oder bei beidseitiger Entfernung der o b e r e n Temporalwindung. Er betrifft ausschließlich das visuelle nicht aber das auditive, taktil oder olfaktorische Gedächtnis. Dean setzt sich kritisch mit verschiedenen Erklärungsversuchen auseinander, die für diesen Effekt gegeben wurden. Er kommt zu dem Schluß, daß der Defekt nicht auf Störungen der Wahrnehmung, der Aufmerksamkeit oder des Gedächtnisses für visuelles Material zurückgeht, sondern entweder auf einer Unfähigkeit, gleiche visuelle Stimuli, die auf verschiedene Teile der Retina fallen, als gleich und verschiedene Stimuli als verschieden zu kategorisieren oder Assoziationen mit ihnen zu bilden.

Beeinträchtigungen des langfristigen und bis zu einem gewissen Grad auch kurzfristigen visuellen Wiedererkennens wurden im übrigen auch bei Schädigung des (unter dem Schläfenlappen befindlichen) Hippocampus, speziell bei Fornix-Durchtrennung am Affen beobachtet (Gaffan, 1976, 1977). Schädigungen des Hippocampus scheinen jedoch zumindestens bei Ratten im allgemeinen das visuelle Diskriminationslernen nur wenig zu beeinträchtigen (Stevens & Cowey, 1975; Anton & Bennet, 1974).

Schädigungen des Frontallappens

Der präfrontale Kortex erhält Afferenzen vom Nucleus medialis dorsalis, einem unspezifischen Thalamuskern, der in reziproker Verbindung mit Strukturen des limbischen Systems steht; er kann in gewisser Weise als neokortikaler Teil des limbischen Systems angesehen werden. Geht man davon aus, daß das limbische System mit Motivationen und Emotionen zu tun hat (Isaacson, 1974), liegt allein schon aufgrund der anatomischen Verbindung die Annahme nahe, daß der präfrontale Kortex Sitz des Willens als übergeordneter Motivationsinstanz ist. Verschiedene Befunde sind geeignet, diese Annahme zu stützen.

Zu nennen sind zunächst Erfahrungen mit der Leukotomie, bei der die weiße Substanz in der Tiefe des Frontalhirns durchschnitten und die Verbindung mit dem Thalamus unterbrochen wird. Eine solche Operation führt beim Menschen im wesentlichen zu einem Abbau sozialer und moralischer Hemmungen und mindert die Fähigkeit, Aufgaben mit großer Konzentration durchzuführen und äußere Störungen zu unterdrücken (Tow, 1955). Für eine Beeinträchtigung der Willensfunktion spricht weiter das Faktum, daß bei massiver Zerstörung des Frontallappens die willentliche Kontrolle der Bewegung reduziert ist: Es tritt unkontrolliertes, automatisches Tasten und Greifen als Reaktion auf visuellen und taktilen Input auf.

Im Tierversuch zeigt sich, daß sensorisch gesteuerte Verhaltensweisen bei Ablation des Frontallappens - nicht jedoch bei Entfernung des Okzipital-, Temporal- oder Parietallappens - kaum mehr an durch Prismenbrillen herbeigeführte Translokation des Gesichtsfeldes angepaßt werden können

(Bossom, 1965). Teuber (1966) nimmt zur Erklärung dieses Defizits an, daß bei der Initiierung einer Willkürbewegung nicht nur eine Innervierung der Effektoren, sondern gleichzeitig auch eine zentrale Innervierung von den motorischen zu den sensorischen Systemen stattfindet, die letztere auf eine Änderung vorbereitet, die als Ergebnis der intendierten Bewegung erfolgen. (Man vergleiche die Rolle der sog. Efferenzkopie innerhalb des Reafferenzprinzips bei von Holst & Mittelstaedt, 1950, und Mittelstaedt, 1960.) Als Beleg führt Teuber insbesondere die schon von von Holst und Mittelstaedt genannten Kornmüller'schen (1931) Scheinbewegungen als Folge intendierter Augenbewegungen bei Lähmung der äußeren Augenmuskeln, sowie fehlende prismatische Adaptation und fehlendes Formenlernen bei passiven Bewegungen an.

Eine Schädigung des Frontallappens scheint nun nicht nur die Fähigkeit zur willkürlichen Konzentration, zur willkürlichen Kontrolle des motorischen Verhaltens und zum sensorischen Lernen im Kontext willkürlichen Verhaltens zu beeinträchtigen, sondern scheint auch eng mit dem kurzfristigen Behalten zusammenzuhängen. Jacobsen (1935) bot beispielsweise zwei gleichartige, mit einem Deckel versehene Behälter, entfernte vor den Augen seiner Versuchs-Affen den Deckel, legte einen Köder hinein und verschloß ihn wieder. Entweder sofort oder nach kurzer Verzögerung durfte das Versuchstier einen der Töpfe wählen. Es zeigte sich auch bei beidseitiger Ablation der Frontallappen keine Beeinträchtigung des unverzögerten Problembox-Verhaltens. Auch visuelle Diskriminationen, die vor der Operation erlernt wurden, blieben erhalten, desgleichen die Fähigkeit zum Erlernen ähnlicher neuer Aufgaben. Das kurzfristige Behalten des richtigen Behälters hingegen war bereits nach einer Dauer von nur zwei Sekunden schwer gestört und konnte auch durch nachfolgendes Training

nicht verbessert werden. Eine Fülle von Nachuntersuchungen (Überblick: Markowitsch & Pritzel, 1977) bestätigen diese Befunde. Schwere Beeinträchtigungen zeigen sich nicht nur in Versuchen, die eine verzögerte Reaktion erfordern, sondern auch in Versuchen, bei denen jeweils nach einer bestimmten Zahl von Durchgängen der Platz, an dem sich der verstärkende Stimulus befindet, vertauscht wird: Die Tiere scheinen sich nicht die Zahl der bisherigen Reaktionen kurzfristig merken zu können und versäumen so den Ortswechsel. Bei Aufgaben, bei denen Tiere ihre Reaktion eine bestimmte Zeit lang zurückhalten müssen, um einen Verstärker zu erhalten, zeigen sich hingegen nur bei Katzen, kaum dagegen bei Ratten oder Affen Einschränkungen.

Wird der Frontallappen mittels einoperierter Elektroden elektrisch stimuliert, so zeigt sich für die Dauer der Stimulierung gleichfalls eine Beeinträchtigung des verzögerten alternierenden Verhaltens (Weiskrantz et alii, 1960), während das Erlernen visueller Unterscheidungen als solches nicht gestört ist (Stamm, 1961).

Die visuelle Agnosie als Folge nicht eindeutig lokalisierbarer Hirnschädigung

Als visuelle Agnosie (Seelenblindheit) wird die Unfähigkeit bezeichnet, Dinge wiederzuerkennen, die gleichwohl wahrgenommen werden. Sie wird traditionell einer Schädigung der visuellen Assoziationsfelder, die sich an die Area striata anschließen, zugeschrieben (z.B. Schiebler, 1977). Dieser Ansicht widersprechen nicht nur Tierversuche über isolierte Ablation der Assoziationsfelder (s.o.), sondern auch neuere Befunde, die einen wesentlich größeren Bereich als Ursache der Schädigung in Betracht ziehen. Frederiks (1969)

faßt die wichtigsten Ergebnisse der extensiven Literatur zusammen. Danach ist die visuelle Agnosie nicht als einheitliches Phänomen zu betrachten; es lassen sich vielmehr verschiedene Untergruppen unterscheiden, die meist in unterschiedlichem klinischen Kontext auftreten und bis zu einem gewissen Grad auch unterschiedliche anatomische Lokalisation besitzen. Die wichtigsten sind: die seltene visuelle Agnosie für Objekte im Sinne der obigen Definition, die Agnosie für Farben, die Agnosie für Physiognomien und die Agnosie für Bilder. Daneben existieren verschiedene Sonderphänomene wie z.B. die Simultanagnosie, bei der ein Patient zwar Teile eines Bildes oder einer Serie von Bildern, nicht aber die dargestellte Situation erkennen kann, oder verschiedene räumliche Agnosien.

Das Problem der anatomischen Lokalisation dieser Störungen ist von einer Lösung weit entfernt. Die zerebrale Verletzung muß extensiv sein, da viele Fälle im Gefolge kortikaler Blindheit beobachtet wurden. Einseitige räumliche Agnosie, Agnosie für Physiognomien und Agnosie für figurative Bilder folgen bevorzugt einer parieto-okzipitalen Verletzung der nichtdominanten, rechten Hemisphäre. Läsionen der linken Hemisphäre führen eher zu einer Farbagnosie (statistisch nicht signifikant), Läsionen beider Hemisphären zur Agnosie für Objekte und symbolische Bilder. Für die Art der beobachteten Agnosie spielt ferner eine gewisse Rolle, wie weit der Parietal-, der Temporal- und der Okzipitallappen auf der einen oder anderen Seite betroffen ist. Manche Autoren bestreiten jedoch eine strikte anatomische Lokalisierung, andere wiederum machen auf die Wichtigkeit subkortikaler Verbindungen aufmerksam.

Elektrische Stimulierung der Hirnoberfläche und Wahrnehmung

Penfield (1958) konnte durch elektrische Stimulierung des zerebralen Kortex im Rahmen von Hirnoperationen, die zur Ausschaltung epileptischer Herde nötig waren, charakteristische Wahrnehmungserlebnisse hervorrufen. Wird die Area striata lokal gereizt, so empfindet der Patient einen Lichtblitz. Wird die Lokalisation der Reizelektrode gering verändert, dann wird der Blitz in einem anderen Gesichtsfeldbereich wahrgenommen. Reizung der angrenzenden Assoziationsfelder ruft demgegenüber komplexere, strukturierte Wahrnehmungsinhalte hervor. Auditive und visuelle Erinnerungssequenzen sehr lebendiger Art werden ausschließlich durch Reizung des Temporallappens hervorgerufen. Wiederholte Reizung desselben Punktes führte vielfach zu der jeweils selben Erinnerungssequenz, mitunter jedoch auch zu verschiedenen Erinnerungen. Eine Entfernung des entsprechenden Gewebes hatte jedoch keinen Verlust der betreffenden Erinnerung zur Folge (Penfield, 1965). Eine Stimulierung des unter dem Schläfenlappen befindlichen Hippocampus führte demgegenüber zu einer Stunden dauernden retrograden Amnesie, die bis zu zwei Wochen umfaßte und in ihrem Ausmaß von der Dauer der Stimulierung abhing (Bickford et alii, 1958; Chapman et alii, 1967).

Penfield faßt in einem neuerdings erschienenem Buch seine Erkenntnisse zusammen (Penfield, 1975). Danach führt selbst die Entfernung von großen Teilen des zerebralen Kortex nicht zum Verlust des Bewußtseins, während selbst geringe Verletzungen oder geringe funktionale Interferenz des höheren Hirnstamms (Diencephalon) zur Bewußtlosigkeit führt. Dem zerebralen Kortex kommt demnach nur die Funktion der Ausarbeitung sensorischer oder motorischer Leistungen zu, während

das Substrat der Bewußtheit als höchster Integrationsinstanz wahrscheinlich im Diencephalon zu denken ist. Die Evolution hat beim Menschen verglichen mit anderen Säugetieren besonders zur Vergrößerung der präfrontalen und temporalen Hemisphären geführt: von Gehirnteilen, deren Funktion erst nach der Geburt programmiert wird. Der Frontallappen bildet die Voraussetzung für planerische Initiative, die Temporallappen werden teils für das Sprechen programmiert, teils dienen sie zur Interpretation aktueller Erfahrung im Lichte früherer Erfahrung. Der interpretative Kortex greift durch Fernaktivierung in den im Zwischenhirn lokalisierten Strom des Bewußtseins ein. Künstliche Reizung des interpretativen Kortex führt via axonaler Leitung von elektrodennahen Zellen zur Aktivierung funktionell bezogener Zellen im Diencephalon, die sukzessive Bewußtseinszustände sequentiell aufzeichnen. Der Sitz zumindestens des sequentiellen Gedächtnisses ist demnach nicht in der Großhirnrinde, sondern im Diencephalon anzunehmen.

Die physiologische Basis des langfristigen Behaltens

Galambos & Morgan (1960) geben einen knappen Überblick über ältere neurophysiologische Theorien des Lernens. Zwei Gruppen solcher Theorien, die in neuester Zeit besonders favorisiert werden, seien im Hinblick auf ihre empirische Basis kurz behandelt.

Chemische Substanzen als mögliche Träger gespeicherter Information

Deutsch & Deutsch (1973) geben einen Überblick über Experimente, die die chemische Basis des Gedächtnisses

aufzudecken suchen. Eine Reihe von Drogen, die vor oder nach dem Lernen verabreicht werden, erweisen sich als förderlich oder hinderlich für das Behalten. Die Gründe für diese Wirkung sind meist undurchschaubar. Viel Mühe wurde speziell darauf verwendet, die Ribonuclein-Säure, die in den Ribosomen der Zellen enthalten ist, als Träger gespeicherter Information zu entlarven. Der RNS als genetischem Material könnte bevorzugt beispielsweise die Rolle zukommen, die Erregbarkeit einer Zelle dauerhaft zu ändern. Versuche, die im Hinblick auf die Frage unternommen wurden, ob Drogen, die die Protein- und RNS-Synthese stimulieren, auch Lernen erleichtern, lieferten keine schlüssigen Ergebnisse. Der umgekehrte Versuch, durch Hemmung der Protein- und RNS-Synthese eine Beeinträchtigung des Gedächtnisses nachzuweisen, lieferte zwar meist positive Befunde, die Ergebnisse können jedoch auch alternativ erklärt werden.

Synaptische Änderungen als mögliche Träger gespeicherter Information

Eine Reihe von im einzelnen unterschiedlichen Theorien sieht in synaptischen Änderungen die Basis des Behaltens. Die Theorien stimmen in der Annahme überein, daß ein gegebener sensorischer Input zu einem einzigartigen Muster neuraler Aktivität führt. Ein nachfolgend auftretender, gleichartiger Input wird in dieselben Bahnen kanalisiert, weil die synaptische Effizienz all der Neuronen erhöht ist, die bei der ursprünglichen Darbietung aktiviert waren. Gleichzeitig verstärkt die erneute Aktivität weiter die Bahnung. Die Theorien unterscheiden sich jedoch in ihren Annahmen über die Art der Änderung der synaptischen Effizienz. Deutsch & Deutsch (1973) favorisieren beispielsweise aufgrund einer Serie eigener Ex-

perimente die Annahme, daß die postsynaptischen Membrane eines spezifischen Sets von Synapsen als Folge des Lernens sensibler gegenüber dem Transmitterstoff werden. Die Sensitivität nimmt in den ersten Tagen nach dem Lernen zu und fällt dann wieder im Rahmen des Vergessens ab. Eccles (1966b) hält prinzipiell vier verschiedene Eigenschaften zerebraler Neuronen und Synapsen als Basis des Behaltens für möglich: eine habituell gewordene Steigerung des exzitatorischen postsynaptischen Potentials kortikaler Zellen, die in rascher Folge gereizt werden, eine entsprechende Änderung des inhibitorischen postsynaptischen Potentials, eine Änderung der Komplexität neuronaler Verknüpfungen und schließlich die Ausbildung zusätzlicher Synapsen an den dendritischen Kontaktfortsätzen.

Es verdient nun Interesse, daß nach neueren und neuesten Befunden sowohl die Atrophierung wie die Neubildung synaptischer Verbindungen tatsächlich von der Erfahrung abzuhängen scheint. Das ZNS ist in seinem groben Aufbau, wie ein morphologischer Vergleich verschiedener individueller Hirne zeigt, genetisch festgelegt. Überdies scheinen viele der synaptischen Verbindungen, die für die spezifische Reaktion von Zellen verantwortlich sind, schon von Geburt an zu bestehen; jedenfalls konnten bei ganz jungen Kätzchen ohne visuelle Vorerfahrung einfache und komplexe Zellen im gestreiften Kortex nachgewiesen werden, die in sehr ähnlicher Weise wie die von erwachsenen Tieren reagierten. Zellen mit ähnlicher Orientierung waren wie dort in Säulen angeordnet (Hubel & Wiesel, 1963). Die genetisch vorgeformte synaptische Struktur scheint jedoch zu atrophieren, wenn sie nicht oder nur einäugig eingeübt wird. Im Bereich des Corpus geniculatum laterale führt visuelle Deprivation nur zu geringen Änderungen (Wiesel & Hubel, 1963a). Kortikale Zellen werden jedoch nur mehr zu einem sehr geringen Teil von einem Auge erregt, das drei Monate lang depriviert war (Wiesel & Hubel, 1963b). Werden Katzen

beidäugig blind aufgezogen, so reagieren mehr als die Hälfte der Zellen normal, der Rest unnormale oder gar nicht (Wiesel & Hubel, 1965a). Die Schädigungen erwiesen sich als weitgehend irreversibel (Wiesel & Hubel, 1965b; vergl. auch Ackroyd et alii, 1974). Umgekehrt zeigte sich ein visuelles System, das sich unter normalen Bedingungen entwickeln konnte, als resistent gegen spätere Deprivation (Hubel & Wiesel, 1970).

Visuelle Eindrücke scheinen nun aber nicht nur unerlässlich, um eine genetisch vorgegebene "Verdrahtung" aufrecht zu erhalten, sie sind auch dafür verantwortlich, daß weitere, mehr oder weniger zufällige neurale Verflechtungen entstehen. Jedenfalls scheint undenkbar, daß die synaptische Verflechtung der ca. 16 Billionen Hirnzellen, von denen jede Hunderte von Synapsen empfangen kann, genetisch genau vorprogrammiert ist. Greenough (1975) zog junge Ratten vom 23. bis zum 55. Tag in einer sehr komplexen und täglich wechselnden, in einer mittleren und in einer sehr eintönigen Umwelt auf. Neuronen, die dem okzipitalen Kortex entnommen wurden, wiesen besonders bei der ersten Gruppe stärkere Verästelung der Dendriten auf. Die Menge des dendritischen Materials pro Neuron war insgesamt größer, ohne daß deshalb die Zelle einen wesentlich größeren Raum einnahm. Da die Dichte der dornenförmigen Auswüchse der Dendriten, die als Kontaktstelle fungieren, bei in komplexer Umwelt aufgezogenen Ratten eher größer ist (Globus et alii, 1973), ist klar, daß in reichhaltiger Umwelt aufgezogene Ratten mehr dendritische Synapsen pro Neuron besitzen als in eingeschränkter Umwelt aufgezogene Ratten. Ähnliche Umwelteinflüsse zeigten sich auch im auditiven Kortex von Ratten, nicht aber im sensiblen und motorischen (Greenough et alii, 1973). Die Ergebnisse werden ferner durch die früheren Beobachtungen von Valverde (1967) gestützt, wonach eine beträchtliche Zahl neuer Kontaktfortsätze gebildet wird, wenn eine Maus erstmalig die Augen öffnet. Werden die

Tiere zu dieser Zeit im Dunkeln gehalten, entwickeln sich wesentlich weniger Synapsen. Andere Autoren (Mollgaard et alii, 1971; West & Greenough, 1972) wiesen nach, daß als Folge visuell anregender Umwelt auch die Dicke gewisser Synapsen zunimmt. In diesem Zusammenhang verdient Interesse, daß in einer Reihe meist älterer Versuche (z.B. Greenough et alii, 1972) aufgewiesen wurde, daß die Aufzuchtbedingungen entscheidend beispielsweise die Geschwindigkeit beeinflussen, mit der eine Ratte später lernt, durch ein Labyrinth zu laufen. Dies würde gleichfalls für einen engen Zusammenhang zwischen den genannten kortikalen Änderungen und dem Lernen sprechen. Greenough (1975) berichtet von zwei weiteren vorläufigen Experimenten, bei denen erwachsene Ratten visuelle Diskriminationsprobleme zu lösen oder verschiedene Labyrinth zu durchlaufen hatten. Es zeigte sich, daß die Scheiteldendriten der trainierten Tiere in ihrem Außenbereich mehr dendritisches Material mit mehr Ästen enthielten. Die Änderungen waren jedoch verglichen mit denen bei Jungtieren gering; außerdem zeigten sich keine Änderungen im Gebiet der basalen Dendriten, die bei Jungtieren besonders aufgefallen waren.

Es ist demnach wahrscheinlich, daß diese kortikalen Änderungen eng mit dem Gedächtnis zusammenhängen, aber letztlich nicht gesichert, da andere begleitende Faktoren wie der Versuchsstreß, größere motorische Aktivität usw. gleichfalls für die beobachteten Folgen verantwortlich gemacht werden können.

THEORETISCHE FOLGERUNGEN: DIE ZENTRALNERVÖSEN GRUNDLAGEN DER VISUELLEN VERARBEITUNG

Im vorangegangenen Kapitel wurden die wichtigsten experimentellen Befunde und theoretischen Ansätze referiert, die die physiologische Erforschung der Wahrnehmung und des Behaltens erbrachte. Wie lassen sich diese Ergebnisse mit der Fülle der psychologischen Einzelbefunde und den theoretischen Folgerungen, die daraus gezogen wurden, in Einklang bringen? - Im folgenden sollen die verschiedenen bisherigen Annahmen über die zentralnervöse Grundlage des wiedererkennenden Wahrnehmens und der damit zusammenhängenden Phänomene auf der Basis der physiologischen Ergebnisse weiter präzisiert werden. Eine erste Annahme befaßt sich mit der mutmaßlichen Grundlage der Organisation des Wahrnehmungsfeldes in Richtung auf größtmögliche Redundanz. Die zweite Annahme betrifft die weitere, erfahrungsabhängige Verarbeitung; sie behandelt die mutmaßliche Grundlage des Lernens visueller Muster und seiner Folgen für das langfristige Wiedererkennen und Reproduzieren, sowie für das kurzfristige und iconische Behalten. Die dritte Annahme befaßt sich schließlich mit der Rolle der Willkür für die Wahrnehmung und das kurz- und langfristige Behalten; die genaue physiologische Grundlage des Willküreinflusses bleibt dabei weitgehend im Dunkeln. Diese drei Annahmen stellen keine lückenlose Theorie des wiedererkennenden Wahrnehmens dar, gestatten aber, die bisher referierten Daten in ein einheitliches Konzept zu integrieren.

Die zentralnervöse Grundlage der Organisation des Wahrnehmungsfeldes

Nach den bisherigen Überlegungen fassen irgendwelche zentralnervöse Einrichtungen Einzelrezeptormeldungen

nach Invarianzen der Qualität und der räumlichen Anordnung in Gruppen zusammen und heben die Gruppen voneinander ab. Wie läßt sich eine derartige Zusammenfassung erreichen?

Das ZNS besitzt nur wenige Möglichkeiten, um Information und deren Übereinstimmung zu kodieren: die Art des verwendeten Neuronentyps, die räumliche Lage von Neuronen und die neuronale Entladungsfrequenz; hinzu kommen ferner die vielfältigen Möglichkeiten, die sich aus unterschiedlichen "Verdrähtungen" zwischen mehreren Neuronen ergeben. Da nun einerseits die Helligkeit, die Farbe, die Bewegung und die Stimmigkeit der Form bzw. der Formelemente von visuellen Stimuli in der Häufigkeit der Entladung spezifischer Neurone ausgedrückt wird, andererseits die Organisation des Wahrnehmungsfeldes auf der Grundlage der Homogenität eben dieser Eigenschaften erfolgt, liegt der Gedanke nahe, daß die zu postulierende zentralnervöse Zusammenhangsbildung als Grundlage der anschaulichen Zusammenhangsbildung irgendwie an den Invarianzen der individuellen Entladungsfrequenzen ansetzt. Überlegt man weiter, daß eine Zusammenhangsbildung zwischen Einzelereignissen im einfachsten Fall dann vorliegt, wenn die Einzelereignisse nicht völlig unabhängig voneinander erfolgen, sondern sich gegenseitig beeinflussen, so drängt sich einem der Gedanke auf, daß die Einzelentladungen irgendwie voneinander abhängig sein müssen und zwar im gegebenen Fall im Sinne der vorgegebenen Invarianzen der Entladungsfrequenzen. Mit anderen Worten, es ist anzunehmen, daß eine Angleichung der individuellen Entladungsfrequenzen - mit der aus technischen Gründen zwangsläufig auch eine Angleichung der Entladungsphasen einhergeht - die physiologische Grundlage der anschaulichen Zusammenhangsbildung darstellt. Als anschauliches Beispiel für eine solche Angleichung könnte etwa die Entwicklung synchronen Klatschens aus anfänglich phasenverschobenen Einzelaktionen ähnlicher Frequenz von Zuschauern dienen.

Für eine im ZNS wirksame Tendenz zur Synchronisierung der Entladungen individueller Zellen, die sich verständlicherweise auf funktionsgleiche Zellen beschränken müßte, sprechen zumindestens zwei physiologische Befunde. Aufzeichnungen der Hirnströme von der Oberfläche des Schädels (Elektroencephalogramm) zeigen nicht nur verschiedene typische Grundmuster wie z.B. die hochfrequenten Beta-Wellen, die geistigen Aktivitäten zugeschrieben werden (vergl. Rohracher, 1971, S. 52 ff.), sondern auch verschiedenen Eigenschaften, die sich auf bestimmte kognitive Leistungen beziehen lassen (John & Schwartz, 1978). Würde nicht eine Synchronisierung der Entladung einzelner Zellen stattfinden, dürfte bei der Vielzahl der zerebralen Neuronen nur Rauschen registrierbar sein.

Der zweite Beleg läßt sich Untersuchungen von Holsts (1937, 1939) über die Koppelung der Bewegung einzelner Glieder verschiedener Organismen entnehmen. Von Holst kommt aufgrund seiner Beobachtungen zur Annahme eines sog. "Magnet-Effekts", der im Sinne einer Frequenz- und Phasenangleichung zentralnervöser Rhythmen wirkt. So wird ein zentralnervöser Rhythmus - kenntlich etwa an der Phasenlage der bewegten Flosse eines Fisches - verlangsamt, sobald er in der Phasenlage einem zweiten Rhythmus - kenntlich an der Phasenlage einer anderen Flosse - voraus ist, oder umgekehrt beschleunigt, sobald er hinter diesem zurückbleibt. Der Magneteffekt führt bei hinreichend starker gegenseitiger Beeinflussung und nicht zu großen Differenzen der Eigenfrequenzen zu völliger Synchronisierung der beiden Rhythmen (absolute Koordination), ansonsten aber zu einer relativen Koordination, bei der gleichzeitig ablaufende Teilreaktionen weder gänzlich unabhängig voneinander, noch in einer festgelegten gegenseitigen Beziehung vor sich gehen.

Wie die postulierte Tendenz funktionsgleicher Zellen zur Synchronisierung ihrer Entladungen zustandekommt, läßt sich nicht mit hinreichender Sicherheit angeben. Bei der starken horizontalen gegenseitigen Verflechtung der Zellen in den visuellen Projektionsgebieten, der kurzen Übertragungszeit in den zentralen Synapsen (0,5 Millisekunden), den hohen Leitungsgeschwindigkeiten (ca. 100m/Sek.) und der summativen Erhöhung der Wahrscheinlichkeit der Entladung einer Zelle durch gleichzeitig oder kurzfristig aufeinanderfolgende Erregungseinflüsse (u.a. Brock et alii, 1952) scheint eine lawinenartige Auslösung der Entladung, die durchaus gleichzeitig an verschiedenen Punkten beginnen könnte, durchaus denkbar.

Eine Synchronisierungstendenz zwischen funktionsgleichen Zellen ähnlicher Feuerfrequenz könnte zunächst, wie bereits angedeutet, die Organisation des Wahrnehmungsfeldes in abgegrenzte, in sich homogene Bereiche erklären, die bekanntermaßen in erster Linie nach Maßgabe der Helligkeit erfolgt. Geht man davon aus, daß ein homogenes Reizgebilde in einer Vielzahl von etwa gleichhäufigen Einzelentladungen benachbarter kortikaler Zellen repräsentiert ist, so wird die postulierte Tendenz zu einer Synchronisierung der Entladungen führen. Der Effekt einer solchen Angleichung liegt auf der Hand: Es wird eine Aktionsgemeinschaft von Zellen geschaffen, die die Einheitlichkeit eines Reizobjekts widerspiegelt. Die Integration der einzelnen Neurone bleibt dabei auf Neurone etwa gleicher Ausgangsfrequenz beschränkt und hebt sie von den restlichen ab, die ihrerseits aufgrund anderer Homogenitäten zu Neuronen-Verbänden zusammentreten können, die in synchronen Wellen "wie ein Mann" feuern.

Da die Farbe, die Disparität als Indikator der Raumtiefe, Bestandteile der Form (die immer auch eine bestimmte Orientierung aufweisen) und die Bewegung gleichfalls in

Entladungsfrequenz spezifischer uni- oder multivariabler Zellen kodiert werden, läßt sich die anschauliche Zusammenhangsbildung aufgrund von Homogenitäten der Farbe, der Disparation (vergl. Julesz, 1960), der Bewegung und der Form nach demselben Muster erklären. Wenn beispielsweise ein Reizmuster bestimmte Invarianten der Form aufweist - wie es z.B. bei einem Arrangement von Strichen der Fall ist, die alle die gleiche Richtung aufweisen - dann werden die für die verschiedenen Teile der Retina zuständigen einfachen, komplexen usw. Zellen, die univariant auf die Richtung spezialisiert sind, stark ansprechen. Andere, die auf nur ähnliche Orientierungen optimal reagieren oder zugleich ein zweites Merkmal (z.B. Bewegung) kodieren, das nicht gegeben ist, werden hingegen nur mit geringerer Feuerfrequenz antworten; wiederum andere werden überhaupt nicht ansprechen. Funktionsgleiche Zellen, also beispielsweise alle, die auf eine bestimmte Orientierung und Bewegungsrichtung spezialisiert sind, werden jedenfalls weitgehend gleich ansprechen und annahmegemäß in eine Frequenz- und Phasenangleichung eintreten. Das resultierende Gesamterregungsmuster setzt sich jeweils aus synchronen Teilerregungen von Gruppen funktionsgleicher Zellen zusammen. Es läßt die Invarianz klar hervortreten, da ja nur uni- oder multivariable Zellen feuern, die auf die vorliegende Orientierung ansprechen, und drückt gleichzeitig in der Synchronität einen Zusammenhang zwischen den gleichorientierten Einzelstimuli aus. Wie allerdings die verschiedenen Helligkeits-, Farb- usw. -empfindlichen Zellen bzw. Zellverbände mit ihren teilweise unterschiedlichen on- und off-Charakteristiken und zeitlichen Verlaufscharakteristiken zusammenwirken, so daß ganzheitlich-gegenständliche Wahrnehmungsinhalte resultieren, bleibt unklar; das postulierte Prinzip erklärt nur die Zusammenhangsbildung innerhalb der einzelnen Dimensionen, nicht die zwischen den Dimensionen.

Zwei Gestaltfaktoren fügen sich auf den ersten Blick nicht diesem Erklärungsansatz: der Faktor der Nähe und der der Geschlossenheit. Nach den bisher bekannten physiologischen Befunden existieren zwar disparation- und damit tiefensensible Zellen; Abstände auf der frontal-parallelen Ebene scheinen aber, da die Retina im primären, sekundären und tertiären Projektionsgebiet topographisch repräsentiert ist, in der räumlichen Lage der Neurone und nicht in der Entladungsfrequenz spezifischer "Nähe"-Zellen kodiert zu sein. Für die Geschlossenheit scheinen gleichfalls spezifische Neurone zu fehlen. Für beide Faktoren wäre demnach ein eigenes Erklärungsprinzip anzusetzen. Dies ist jedoch nicht nötig. Geht man davon aus, daß die Synchronisierungstendenz durch Interaktion gleichgestellter Zellen zustandekommt, so werden sich näher beieinanderliegende Zellen dank zahlreicherer direkter synaptischer Kontakte und der dank kürzerer Leitungswege bestehenden engeren zeitlichen Kontingenz stärker gegenseitig beeinflussen. Dies bedeutet aber annahmegemäß stärkere anschauliche Gruppierungstendenzen. Nach ähnlichem Muster läßt sich auch die Wirksamkeit des Faktors der Geschlossenheit erklären. Geschlossene Gebilde führen zu stärkerer neuronaler Interaktion als offene, da an den Enden der Neuronenreihe, die eine offene Formation abbilden, nur einseitige Beeinflussung möglich ist; der Anstoß von der anderen Seite fehlt.

Von den anschaulichen Zusammenhangsbildungen, die auf vorgegebenen Invarianzen beruht, ist im übrigen die Zusammenhangsbildung zu unterscheiden, die durch Lernen zustandekommt und beispielsweise als ganzheitliches Auffassen eines komplexen Musters in Erscheinung tritt. Diese Zusammenhangsbildung (vergl. Wertheimers Faktor der Erfahrung) läßt sich gleichfalls auf das allgemeine Synchronisierungsprinzip zurückführen. Wie im nächsten Abschnitt näher erläutert werden wird, werden durch Lernen wahrscheinlich "Verdrahtungen" zwischen

nicht funktionsgleichen Zellen geschaffen, die wie die genetisch vorgegebenen zwischen funktionsgleichen Zellen gegenseitige Beeinflussung und damit Frequenz- und Phasengleichung gestatten.

Die verschiedenen, im Wahrnehmungsfeld wirksamen Organisationstendenzen lassen sich somit auf ein einheitliches Verarbeitungsprinzip zurückführen. Daß dabei insgesamt eine denkbar einfache, redundante Gliederung des Wahrnehmungsfeldes resultiert, liegt auf der Hand: Die gegenseitigen Synchronisierungstendenzen sollten umso stärker sein, von je mehr Einzelmeldungen sie getragen sind. Verständlich ist weiter, daß die Organisation des Gesamtfeldes in allen Teilen gleichzeitig erfolgt, da der Magneteffekt ein parallel arbeitendes Verarbeitungsprinzip darstellt. Die Organisation erfolgt ferner in alle Richtungen in gleicher Weise, da die Anordnung der verschiedenen Zellen in den Projektionsgebieten keine spezielle Bevorzugung einer bestimmten Richtung aufweist. Verständlich ist auch, daß die Strukturprinzipien als solche unmittelbar erfaßt werden, da durch das postulierte Verarbeitungsprinzip gerade strukturelle Gemeinsamkeiten hervorgehoben werden.

Weiter lassen sich auch die Homogenisierungsphänomene erklären, die am deutlichsten im Ganzfeld und den Mach'schen Bänder (Mach, 1906) zu Tage treten (vergl. S. 159): In einem Geflecht sich gegenseitig beeinflussender Neurone werden dank des von der großen Masse ausgehenden großen Synchronisierungseffekts auch weiter auseinanderliegende Neurone in dasselbe Entladungsmuster mit einbezogen werden, die afferent zu unterschiedlich innerviert werden, um sich ansonsten in denselben Rhythmus fügen zu können. Homogenisierungstendenzen wurden auch bei der Form-, Richtungs- und Bewegungswahrnehmung beobachtet (vergl. S. 159), in Bereichen also, die ebenfalls in der Entladungsfrequenz spezifischer Zellen zentralnervös kodiert werden.

Schließlich lassen sich auch die Ergänzungsphänomene erklären, die im Kontext der Organisation des Wahrnehmungsfeldes aufgefallen waren. Als auffälligste und leicht zu erklärende Ergänzung erwies sich dabei die Anpassung an die homogene Umgebungsfarbe im Bereich des blinden Flecks und stabilisierter Bilder (vergl. S. 161): Wenn einzelne Neurone nicht nur retinal stimuliert, sondern auch durch funktionsgleiche, benachbarte Zellen gleichsinnig erregt werden können, dann ist verständlich, daß Zellen innerhalb eines einheitlich agierenden Umfeldes ebenfalls das Erregungsmuster der umliegenden Zellen annehmen. Ergänzungen im Figuralbereich - man denke insbesondere auch an die figuralen Ergänzungen, die bei Schädigung der Area striata beobachtet wurden - können in analoger Weise erklärt werden; dabei mag eine Beteiligung durch Lernen geschaffener Einflußwege eine mehr oder weniger große Rolle spielen.

Die Grundlage des visuellen Behaltens

Nach den bisherigen Überlegungen über die Grundlage des visuellen Behaltens wird derselbe Zellverband, dessen Erregung von Wahrnehmungserlebnissen begleitet ist oder zu solchen Erlebnissen führt, durch häufig wiederkehrende Aktivität dahingehend modifiziert, daß entsprechende Aktivitätsmuster zunehmend leichter produziert werden können. Die leichtere Produktion, so wurde weiter angenommen, erfolgt durch zunehmend stärkere gegenseitige Aktivierung der beteiligten Zellen, so daß eine Zellgruppe als Ganzes in all ihren Teilen aktiv ist. Dieses Grundkonzept läßt sich auf der Basis der referierten physiologischen Befunde noch weiter ausbauen und präzisieren.

Die Überlegungen gehen davon aus, daß sich die Area striata und die nachfolgenden visuellen Projektierungsgebiete bis hin zur unteren Temporalwindung bevorzugt mit der Ausarbeitung von Konturen zwischen in sich einheitlichen Flächen und damit mit der Wahrnehmung der Form von Dingen befassen. Die Ausarbeitung erfolgt zunächst auf der Basis einer genetisch vorgegebenen "Verdrahtung"; Durch Zusammenschaltung von Zellen mit konzentrischem rezeptivem Feld und stufenweiser Zusammenschaltung jeweils übergeordneter Zellen in den angrenzenden Sehzentren werden Detektoren erzielt, die unter zunehmender Abstraktion vom Ort der retinalen Abbildung auf Konturabschnitte bestimmter Orientierung und räumlicher Lage, auf Winkel, auf Diskontinuitäten, auf Bewegung von Konturabschnitten in bestimmter Richtung usw. ansprechen; durch spezifische Zellen wird ferner die Farbe von Dingen registriert. Neben dieser vertikalen Verdrahtung ist weiter eine genetisch vorgegebene horizontale Verdrahtung zwischen funktionsgleichen Zellen als Basis des synchronisierenden Einflusses und damit der anschaulichen Zusammenhangbildung anzunehmen. Die genetisch vorgegebenen primären Schaltungen werden durch sekundäre, individuell erworbene ergänzt, die bleibende Verbindungen zwischen bestehenden Kontur-, sowie Kontur- und Farbdetektoren schaffen; die entstehenden Neuronenverbände können als Detektoren für komplexere Gebilde dienen. Die Speicherung visueller Muster besteht demnach in der Ausbildung von spezifischen Verdrahtungen zwischen bereits bestehenden hochkomplexen Zellen. Die Verbindungen sind dabei am ehesten so zu denken, daß oft genutzte Erregungswege zwischen gleichzeitig erregten Zellen dauerhaft gebahnt werden, d.h. auf Dauer Erregungen leichter fortleiten. Die physiologische Natur dieser bleibenden Bahnung ist dabei ungeklärt. Sie besteht wahrscheinlich in einer Erweiterung der synaptischen Wege durch Wachsen neuer synaptischer Verbindungen, kann aber auch in einer Änderung der Übertragungscharakteristik innerhalb des bestehenden Neuronennetzes - etwa durch Änderung der Größe der Synapsen, der Änderung der Empfindlichkeit der empfangenden Zellmembran oder dergleichen bestehen. Individuell erworbene Bahnun-

gen ermöglichen jedenfalls eine bevorzugte Erregungsausbreitung zwischen den beteiligten Zellen und lassen sie als Gruppe feuern, auch wenn nicht jede einzelne Zelle direkt afferent aktiviert wird. Nach demselben Prinzip können später dann auch Erregungsbahnen zwischen bereits bestehenden Zellverbänden oder "halbfertigen" Zellverbänden und weiteren hochkomplexen Zellen ausgebildet werden.

Wo Wahrnehmung und Speicherung, wo Erregung und Bahnung erfolgen, ob in den verschiedenen visuellen Projektionsgebieten oder nur in einem oder in einigen von ihnen oder an keinem dieser Orte, sondern im Thalamus, der mit allen Projektionsgebieten wechselseitig verbunden ist, oder beides, läßt sich nicht angeben, da der Ort des Bewußtseins ungeklärt ist. Denkbar ist auch, daß die Ausarbeitung der visuellen Information inklusive der Speicherung in den Projektionsgebieten erfolgt, der Thalamus hingegen nur reine "Bildschirmfunktion" besitzt, auf dem das Verarbeitungsergebnis sichtbar wird. Diese Auffassung würde der "Theorie der letzten Wirkung" von Rohracher (1967) entsprechen, nach der das bewußte Erleben eine Wirkung der Gehirnvorgänge ist, selbst aber nicht auf diese zurückwirken kann.

Die hier vertretene Bahnungstheorie des Gedächtnisses entspricht zunächst den verschiedenen physiologischen Befunden. Sie berücksichtigt die verschiedenen Befunde über die funktionale Architektur des visuellen ZNS. Sie erklärt weiter die verschiedenen Beobachtungen über die Folgen von Hirnläsionen: Eine Entfernung der Area striata unterbricht das stufenförmige visuelle Projektionssystem an einer entscheidenden Stelle. Ein Herausfiltern von Strukturmerkmalen der Form, Bewegung und Farbe als Voraussetzung für das Lernen und Reaktivieren von Mustern ist nicht mehr möglich. Das Wahrnehmen und Wiedererkennen von Helligkeiten bleibt hingegen mög-

lich, weil das Corpus geniculatum laterale als vorgeordnetes, noch mit formlosen Helligkeiten befaßtes System mit seinen vielfältigen Verbindungen zu verschiedenen Hirngebieten erhalten bleibt. Bleiben hingegen geringe Reste der Area striata erhalten, ist eingeschränkte Formwahrnehmung möglich, da eine Brücke zu den übergeordneten Projektionsgebieten erhalten bleibt. Eine isolierte Entfernung der Assoziationsfelder beeinträchtigt das Wiedererkennen, da ein Teil der strukturellen Verarbeitung entfällt, verhindert es aber nicht ganz, da eine direkte Brücke zum Temporallappen als nachfolgendem Projektionsgebiet besteht. Eine Schädigung des Schläfenlappens erweist sich als besonders gravierend, da erst hier eine weitgehende Unabhängigkeit der visuellen Information vom Ort der retinalen Reizung erreicht wird, was ihn als besonders geeignet für die Speicherung erscheinen läßt. Die Fähigkeit zum Neulernen ist gleichwohl weitgehend erhalten, da Bahnungen annahmegemäß nicht nur an einem ganz genau umschriebenen Ort erfolgen, sondern verschiedenste Zellen betreffen, die im Zusammenhang mit der Wahrnehmung erregt werden.

Die Befunde über die subjektiven Folgen von elektrischen Reizungen der Gehirnoberfläche fügen sich gleichfalls in dieses Bild. Nach den Erkenntnissen über die funktionale Architektur des ZNS sind die einfachen und komplexen Zellen in der Area striata noch auf ziemlich genau umschriebene Orte der Retina bezogen. Da gleiche Gegenstände je nach Blickrichtung und Entfernung auf unterschiedlichen Netzhautpunkten abgebildet und dank der topographischen Verhältnisse in der Erregung sehr unterschiedlicher Zellgruppen der Area striata repräsentiert werden, kann noch keine sonderlich spezifische Bahnung in diesem Bereich erfolgen. Eine Reizung der Area striata kann deshalb noch keine ausgearbeiteten gegenständlichen und sequentiellen Erinnerungen erbringen. Da die Zellen in den Assoziationsfeldern und dem Schläfenlappen mehr

oder weniger unabhängig vom Ort der retinalen Reizung sind, ist erst hier durch Bahnung eine eindeutige Abbildung von Gegenständen möglich. Eine Reizung dieser Gebiete führt dank der Erregungsausbreitung innerhalb der Grenzen der hier bestehenden Interaktionsverbände zu gegenständlichen oder sequentiellen Erlebnissen von wahrnehmungsartiger Qualität.

Schließlich trägt eine Bahnungstheorie des Lernens auch den Befunden über synaptische Änderungen als Folge visueller Erfahrung Rechnung.

Die hier vertretene Theorie der Speicherung gestattet weiter eine Erklärung der psychologischen Befunde über die Einspeicherung. Sie entspricht zunächst der Tatsache, daß *s t r u k t u r e l l e* Information gelernt wird. Durch die vorgegebene vertikale Verdrahtung werden zunächst Strukturelemente eines Musters (Farbe, Helligkeit, Formelemente bestimmter Orientierung und räumlicher Lage) unter Abstraktion von Ort der retinalen Abbildung herausgefiltert und durch erworbene Verdrahtungen miteinander verknüpft: Dies entspricht dem elementaren Lernen der Qualität und der Form homogenfarbener Einzelgebilde. Die entstehenden Interaktionsverbände können dann ihrerseits untereinander in spezifische Weise verdrahtet werden und so fort: Dies entspricht dem Lernen der Art und der Anordnung bereits bekannter, in bestimmter Weise geformter Farbflächen oder komplexerer bereits bekannter Einheiten. Die aufeinander aufbauende Verdrahtung spiegelt dabei die hierarchische Struktur des Lernens, bei der bereits bekannte Teilinformationen einer umfassenderen Information nicht noch einmal gelernt werden müssen.

Die Theorie entspricht weiter der Tatsache, daß Lernen Bewußtheit voraussetzt: Bewußte Wahrnehmung ist annahmegemäß an das Vorhandensein mnestischer Erregungen gebunden.

letztere stellen aber auch die unabdingbare Voraussetzung für die Schaffung neuronaler Interaktionswege dar. Ferner ist verständlich, daß der Umfang der visuellen Speicherung enorm hoch ist: Die Speicherung beruht auf Kombinationen von Zellen; selbst bei einer geringen Zahl von Ausgangszellen ließen sich nach den Gesetzen der Kombinatorik bereits phantastisch viele unterschiedliche Anordnungen erzielen. Da die langfristige visuelle Speicherung auf einer anderen physiologischen Basis beruht wie die kurzfristige oder iconische, ist schließlich auch verständlich, daß ihre Dauer von der der anderen Formen des Behaltens verschieden ist.

Die vorliegende Bahnungstheorie des Gedächtnisses erklärt auch die Eigenheiten der Reaktivierung. Da die über ein vorliegendes Muster aufgenommene Information immer auf der genetisch vorgegebenen "Schiene" zu ihrer Spur gelangt, ist sichergestellt, daß bei struktureller Übereinstimmung - und nur bei struktureller Übereinstimmung - zwischen einem früheren und einem jetzt vorliegenden Reizobjekt der "richtige" Neuronenverband aktiviert wird. In diesem Zusammenhang verdient die feature/template-Problematik besondere Beachtung. Es fiel auf, daß die reaktivierte Information einerseits eine starke Betonung der Struktur ("feature") aufwies, andererseits aber durchaus auch Bildcharakter ("template") zeigte. Dies steht im Einklang mit der vorgelegten Theorie. Zwar wird immer nur strukturelle Information gelernt und auf der Basis struktureller Übereinstimmung reaktiviert; durch den hierarchischen Aufbau des Spurengebäudes auf genetisch vorgegebene primäre Detektoren ist jedoch gewährleistet, daß die mnestiche Erregung als Basis des bewußten Wahrnehmens ein Muster komplett bis in die kleinsten Elemente abbildet.

Verständlich ist weiter, daß die Reaktivierung der jeweils bereits bekannten Information durch ein konsistentes oder aus separaten Teilen bestehendes Reizmuster parallel erfolgt, da ein ganzheitlicher Neuronenverband annahmegemäß in jedem Fall in allen seinen Teilen aktiv ist und sich die gleichzeitige Aktivität mehrerer räumlich getrennter Neuronenverbände nicht gegenseitig ausschließt. Durch im Vorgriff erfolgende Reaktivierung der Teile von Interaktionsverbänden, die Endglieder von Wahrnehmungssequenzen speichern, lassen sich auch die verschiedenen situativen Einstellungswirkungen (Selektivität der Wahrnehmung, Auftreten halluzinatorischer Erlebnisse, kürzere Wiedererkennungzeit; siehe im einzelnen die Folgerungen auf S.283ff.) erklären.

Die Theorie macht weiter die verschiedenen anschaulichen Folgen des sensorischen Lernens verständlich. Die Entwicklung von der Wahrnehmung abgegrenzter Farbflecken, deren spezifische Einzelheiten nur sukzessive erfaßt werden können, zum klaren, ganzheitlichen Sehen von Objekten läßt sich als direktes Korrelat durch Lernen geschaffener Interaktionsverbände zwischen vorher unverbunden agierenden Zellen verstehen. Besondere Beachtung verdient dabei der Aspekt, daß die Teile konsistenter Gebilde oder die separaten Einzelobjekte von Arrangements, die in der Vergangenheit häufig miteinander vorgekommen sind, im Rahmen ihrer ganzheitlichen Auffassung auch als zusammengehörig erlebt werden. Diese Erfahrung veranlaßte wahrscheinlich Wertheimer (1923, S. 331-337), den Faktor der Erfahrung mit in die Reihe seiner Gruppierungsfaktoren aufzunehmen. Diese anschauliche Zusammenhangbildung ist nicht weiter verwunderlich. Lernen schafft annahmegemäß Verdrahtungen zwischen bisher (weitgehend) unverbundenen Zellen, über die nunmehr gegenseitige Beeinflussung möglich ist. Diese Beeinflussung mag im gegebenen Fall in ähnlicher Weise zu einer relativen oder absoluten Koordination der Entladungen führen, wie dies bisher aufgrund der genetisch vorgegebenen Verdrahtung möglich war.

Die Anreicherung der subjektiven Wahrnehmung im Sinne der bisherigen Erfahrung ist so zu erklären, daß die Erfahrung bestehende Spuren anreichert; wird eine solche Spur durch ein "armes" afferentes Muster aktiviert, so breitet sich annahmegemäß die Erregung innerhalb der Grenzen des Interaktionsverbandes aus. Das resultierende mnestische Muster als Korrelat der Wahrnehmung trägt entsprechend die Spuren der bisherigen reichen Erfahrung. Die Genauigkeit des Wiedererkennens nimmt schließlich zu, weil komplettere Neuronenverbände lückenloseres Wiedererkennen gestattet, das ein Nichtbemerken von Abweichungen auf seiten eines vorliegenden Distraktors zunehmend ausschließt.

Da Interaktionsverbände dank der summativen Zunahme der Wahrscheinlichkeit neuronaler Entladungen durch gleichzeitige oder kurzfristig aufeinanderfolgende Einflüsse bis zu einem gewissen Grad autoinduktiv sind, ist klar, daß Erregungen nachklingen. Dieses Nachklingen ist als plausible physiologische Basis des iconischen Behaltens anzusehen, da ja die Wahrnehmung annahmegemäß an das Vorhandensein mnestischer Erregungen gebunden ist. Folgt sehr rasch ein anderes Reizmuster auf ein vorhergehendes (Bedingung des Maskierens), so wird das autoinduktive Nachklingen unterbrochen, da die afferente Beeinflussung in jedem Fall als stärker als die zwischen den Zellen anzunehmen ist.

Der Einfluß der Willkür auf die Wahrnehmung, das kurzfristige und das langfristige Behalten

Nach den bisherigen Überlegungen besitzt die Willkür die Fähigkeit, Spuren - gleichzeitig aber immer nur eine - zu aktivieren und die afferente Aktivierung der jeweils rest-

lichen zu hemmen. Dem ist von seiten der physiologischen Ergebnisse nicht viel hinzuzufügen, außer daß die Willkürimpulse wahrscheinlich vom Frontalhirn ihren Ausgang nehmen. Wie der Willküreinfluß im einzelnen zu denken ist, bleibt unklar.

Die Hypothese gestattet immerhin die Erklärung einiger bemerkenswerter Befunde, die hier noch einmal kurz zusammengefaßt seien. An erster Stelle sind die Einflüsse der Willkür auf die Wahrnehmung zu nennen. Der Wille vermag die Wahrnehmung selektiv auf das Eintreten bestimmter Reize einzustellen mit der Folge, daß diese Stimuli im Zentrum der Aufmerksamkeit wahrgenommen, andere hingegen vom Bewußtsein mehr oder weniger ferngehalten werden. Die besondere Bewußtseinsklarheit einstellungsrelevanter Inhalte erklärt sich aus der afferenten und willkürlichen Doppelaktivierung der mit der Wahrnehmung und Speicherung befaßten Interaktionsverbände, die Bewußtseinsfernheit irrelevanter Inhalte dagegen aus dem hemmenden Anteil des Willens. Da der Wille nur auf einen speichernden Neuronenverband gerichtet werden kann, ist der Umfang der Aufmerksamkeit auf eine bereits bekannte Einheit beschränkt. Durch seine aktivierende bzw. hemmende Wirkung kann der Wille auch gezielt einzelne Inhalte vom Bewußtsein fernhalten, halluzinatorische Erlebnisse fördern und das Wiedererkennen von Reizmustern beschleunigen (siehe im einzelnen hierzu S.274 ff.).

Da die Speicherung von Wahrnehmungsinhalten das zeitlich kontingente Auftreten konstituierender mnestischer Erregungen voraussetzt, bestimmt der Wille über die Steuerung der Aufmerksamkeit auch die Reihenfolge der Einspeicherung. Die selektive Steuerung ist wahrscheinlich auch der Grund dafür, daß Teilinformationen streng nacheinander erlernt werden.

Der Wille vermag ferner gespeicherte Inhalte in die Vorstellung zu rufen. Dies erfolgt gleichfalls durch Aktivierung von Interaktionsverbänden, die in diesem Fall jedoch

nicht gleichzeitig auch afferent erregt werden. Das In-die-Vorstellung-Rufen gestattet u.a. eine zeichnerische Reproduktion früher erfahrener visueller Inhalte. Es gestattet aber auch - insbesondere bei zyklischem Vorstellungswechsel - das kurzfristige Behalten einzelner, zentralnervös noch unverbundener Inhalte. Die geringe Spanne des unmittelbaren Behaltens ergibt sich aus der beschränkten Geschwindigkeit der Wanderung des Willküreinflusses und der raschen Geschwindigkeit des Abklingens mnestischer Erregungen. Die längere Dauer des kurzfristigen Behaltens im Vergleich zum iconischen Behalten ist vor allen Dingen der Tatsache zuzuschreiben, daß der Wille noch eine Spur auffinden kann, deren Erregung schon zu weit verblaßt ist, um noch iconisches Wahrnehmen zu gestatten.

Da der Wille in gleicher Weise wie afferente Einflüsse zum Auftreten mnestischer Erregungen führt, ist verständlich, daß zyklisches In-die-Vorstellung-Rufen (Memorieren, rehearsal) in gleicher Weise zu langfristiger Speicherung führt wie die Wahrnehmung einer entsprechenden Vorlage. Da durch Lernen komplexere Interaktionsverbände geschaffen werden, der Wille aber in gleicher Weise jeweils nur einen kleinen oder großen Verband aktivieren kann, ist weiter verständlich, daß langfristiges Lernen die Kapazität des kurzfristigen Behaltens erhöht.

Die Hypothese einer willkürlich herbeigeführten Vorstellungsfolge als Basis des kurzfristigen Behaltens steht im übrigen mit dem physiologischen Befund im Einklang, daß eine Schädigung des Frontalhirns unter den verschiedenen Leistungen, die eine Beteiligung des Willens voraussetzen, auch die Fähigkeit des kurzfristigen Behaltens beeinträchtigt.

LITERATUR

- Ach, N.: Über die Willenstätigkeit und das Denken. Göttingen 1905
- Ach, N.: Über den Willensakt und das Temperament. Leipzig: Quelle & Meyer 1910
- Achroyd, C., Humphrey, N.K., Warrington, E.K.: Lasting effects of early blindness. A case study. Quart. J. exp. Psychol., 26, 1974, 114-124
- Ahrens, R.: Beiträge zur Entwicklung des Physiognomie- und Mimikerkennens. Z. exp. angew. Psychol., 2, 1954, 412-454, 599-633
- Alegria, J.: Sequential effects of foreperiod duration: Some strategic factors in tasks involving time uncertainty. In: Rabbit, P.M.A., Dornic, S. (eds.): Attention and performance, vol. V. London: Academic Press 1975
- Allport, D.A., Antonis, B., Reynolds, P.: On division of attention: A disproof of the single channel hypothesis. Quart. J. exp. Psychol., 24, 1972, 225-235
- Allport, F.H.: Theories of perception and the concept of structure. New York: Wiley 1955
- Ames, A., jr.: Visual perception and the rotating trapezoidal window. Psych. Monogr. 65, 1951, nr. 14 (whole nr. 324)
- Anton, B.S., Bennet, T.L.: Hippocampal lesions during rearing and transfer of perceptual learning in rats. Psychol., 2, 1974, 523-528
- Arnoult, M.D.: Prediction of perceptual responses from structural characteristics of the stimulus. Percept. Mot. Ski, 11, 1960, 261-268
- Ashby, R.C.: Design for a brain. London: Chapman & Hall 1953
- Atkinson, R.C., Shiffrin, R.M.: A proposed system and its control processes. In: Spence, K.W., Spence, J.T. (ed.) Advances in the psychology of learning and motivation vol. II. New York: Academic Press 1968
- Atkinson, R.C., Shiffrin, R.M.: The control of short-term memory. Sci. Amer., 225, 1971, 82-90

- Attneave, F.: Some informational aspects of visual perception. *Psych. Rev.*, 61, 1954, 183-193
- Attneave, F.: Symmetry, information, and memory for patterns. *Am. J. Psychol.*, 68, 1955, 209-222
- Attneave, F.: Physical determinants of the judged complexity of shapes. *J. exp. Psychol.*, 53, 1957, 221-227
- Attneave, F.: Applications of information theory to psychology. New York: Holt, Rinehart & Winston 1959
- Attneave, F.: Triangles as ambiguous figures. *Am. J. Psychol.*, 81, 1968, 447-453
- Attneave, F., Arnould, M.D.: The quantitative study of shape and pattern perception. *Psych. Bull.*, 53, 1956, 452-471
- Averbach, E., Coriell, A.S.: Short-term memory in vision. *Bell Syst. Techn. J.*, 40, 1961, 309-328
- Averbach, E., Sperling, G.: Short-term storage of information in vision. In: Cherry, C. (ed.): *Information theory: Proceedings of the Forth London Symposium*. London: Butterworth 1961
- Baddeley, A.D.: *The psychology of memory*. New York: Harper & Row 1976
- Bahrick, H.P.: Retention curves: facts or artifacts? *Psych. Bull.*, 61, 1964, 188-194
- Bahrick, H.P., Clark, S., Bahrick, P.: Generalisation gradients as indicants of learning and retention of a recognition task. *J. exp. Psychol.*, 75, 1967, 464-471
- Banks, W.P.: Signal detection theory and human memory. *Psych. Bull.*, 74, 1970, 81-99
- Barskii, B.V., Guzeva, M.A.: O zavisimosti prostranstvennykh porogov zreniya ot kharaktera vosprinimaemogo kontura. *Vopr. Psichol.*, 8, 1962, 101-114
- Bartel, H.: Über die Abhängigkeit spontaner Reproduktionen von Feldbedingungen. *Psych. Forsch.*, 22, 1937/38, 1-25
- Battro, A.M., Fraisse, P.: Ya-t-il une relation entre la capacité d' apprehension visuelle et les mouvements des yeux? *Ann. Psych.*, 61, 1961, 313-324

- Baxt, N.: Über die Zeit, welche nötig ist, damit ein Gesichtseindruck zum Bewußtsein kommt und über die Größe (Extension) der bewußten Wahrnehmung bei einem Gesichtseindruck von gegebener Dauer. Pflüger's Archiv, 4, 1871, 325-336
- Bear, G.: Figural goodness and the predictability of figural elements. Percept. Psychophys., 13, 1973, 32-40
- Bender, M.B.: Disorders in perception. Springfield: Thomas 1952
- Bergius, R.: Die Bedeutung der objektiven und phänomenalen Strukturiertheit für das Lernen. Ber. 22. Kongr. Dsch. Ges. Psychol., hrsg. v. Thomae, H., Göttingen 1960, 202-205
- Bergius, R.: Einfache Lernvorgänge. In: Bergius, R. (Hrsg.) Hdb. d. Psychol. I/2.: Lernen und Denken. Göttingen Hogrefe 1964
- Bergius, R.: Psychologie des Lernens. Stuttgart: Kohlhammer 1971
- Bernbach, H.A.: Decision processes in memory. Psych. Rev., 74, 1967, 462-480
- Betz, D.: Psychophysiologie der kognitiven Prozesse. München Reinhardt 1974
- Bickford, R.G., Mulder, D.W., Dodge, H.W., Svien, H.J., Rome H.P.: Changes in memory function produced by electrical stimulation of the temporal lobe in man. Research Publications of the Association for Research in Nervous and Mental Disease, 36, 1958, 227-43
- Binder, A.: A statistical method for the process of visual cognition. Psych. Rev., 1955, 62, 119-129
- Binet, A.: Psychologie des grands calculateurs et joueurs d'échecs. Paris 1894
- Binet, A., Henri, V.: La memoire des mots. Ann. Psych., 1, 1895, 1-23
- Bischof, N.: Psychophysik der Raumwahrnehmung. In: Metzger, (Hrsg.): Hdb. d. Psychologie I/1. Göttingen: Hogrefe 1966
- Bitterman, M.E., Krauskopf, J., Hochberg, J.E.: Threshold for visual form: A diffusion model. Am. J. Psychol., 6, 1954, 205-219

- Bliss, E.L., Clark, L.D.: Visual hallucinations. In: West, L.J. (ed.): Hallucinations. New York: Grune & Stratton 1962
- Bloom, B.S.: Time and learning. Am. Psychol., 29, 1974, 682-688
- Borg, G.: Studies of visual gestalt strength. Report, Dept. Educ., Umea Univ., Sweden, 1964 (mimeographed)
- Boring, E.G.: A new ambiguous figure. Am. J. Psychol., 42, 1930, 444-445
- Boring, E.G.: A history of experimental psychology. New York: Appleton-Century-Crofts 1950
- Bossom, J.: The effect of brain lesions on prism adaptation in monkey. Psych. Sci., 2, 1965, 45-46
- Bowman, A.: Size vs. intensity as a determiner of attention. Am. J. Psychol., 31, 1920, 87-90
- Bower, T.G.R.: Discrimination of depth in premotor infants. Psych. Sci., 1, 1964, 368
- Bower, T.G.R.: Stimulus variables determining space perception in infants. Science, 149, 1965, 88-89
- Bower, T.G.R.: Heterogeneous summation in human infants. Anim. Behav., 14, 1966, 395-398 (a)
- Bower, T.G.R.: Slant perception and shape constancy in infants. Science, 151, 1966, 832-834 (b)
- Bower, T.G.R.: Phenomenal identity and form perception in an infant. Percept. Psychophys., 2, 1967, 74-76
- Bower, T.G.R.: Die Wahrnehmungswelt des Kindes. Stuttgart: Klett-Cotta 1978
- Box, G.E.P.: Non-normality and tests on variance. Biomet., 40, 1953, 318-335
- Braly, K.W.: The influence of past experience in visual perception. J. exp. Psychol., 16, 1933, 613-643
- Brandt, H.F.: The psychology of seeing. New York: Philosophical Library 1945
- Broadbent, D.E.: A mechanical model for human attention and immediate memory. Psych. Rev., 64, 1957, 205-215

- Broadbent, D.E.: Perception and communication. Oxford: Pergamon-Press 1958
- Broadbent, D.E.: Decision and stress. London: Academic Press 1971
- Brock, L.G., Coombs, J.S., Eccles, J.C.: The recording of potentials from motoneurons with an intracellular electrode. *J. Physiol.*, 117, 1952, 431-460
- Brown, A.E., Hopkins, H.K.: Interactions of the auditory and visual sensory modalities. *J. Acoust. Soc. Am.*, 41, 1967, 1-7
- Brown, D.R., Hitchcock, L, jr., Michels, K.M.: Quantitative studies in form perception: An evaluation of the role of selected stimulus parameters in the visual discrimination performance of human subjects. *Percept. Mot. Ski.*, 14, 1962, 519-529
- Bruce, D., Fagan, R.L.: More on the recognition and free recall of organized lists. *J. exp. Psychol.* 85, 1970, 153-154
- Brun, R.: Allgemeine Neurosenlehre. Basel: Schwabe 1954
- Bruner, J.S.: Personality dynamics and the process of perceiving. In: Blake, R.R., Ramsey, G.V. (eds.): Perception: An approach to personality. New York: Ronald Press 1951
- Bruner, J.S.: Going beyond the information given. In: Contemporary approaches to cognition: A symposium held at the University of Colorado. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press 1957
- Bruner, J.S., Minturn, A.L.: Perceptual identification and perceptual organisation. *J. Gen. Ps.*, 53, 21-2
- Bruner, J.S., Postman, L.: On the perception of incongruity: A paradigm. *J. Pers.*, 18, 1949, 206-223
- Bruner, J.S., Postman, L.: Perception, cognition and behavior. In: Bruner, J.S., Krech, D. (eds.): Perception and personality: A symposium. Durham, N.C. 1950. Repr.: New York: Greenwood Press 1951
- Bruner, J.S., Postman, L., Rodrigues, J.: Expectation and perception of color. *Am. J. Psychol.*, 64, 1951, 216-227

- Brunswik, E.: Distal focusing of perception: Size constancy in a representative sample of situations. Psych. Monogr.
- Brunswik, E.: Representative design and probabilistic theory in a functional psychology. Psych. Rev., 62, 1955, 193-217
- Bryant, P.E., Jones, P., Claxton, V., Perkins, G.M.: Recognition of shapes across modalities by infants. Nature, 240, 1972, 303-304
- Bugelski, B.R., Alampay, D.A.: The role of frequency in developing perceptual sets. Can. J. Psychol., 15, 1961, 205-211
- Buswell, G.T.: How people look at pictures. Chicago, Illinois: Chicago University Press 1935
- Butler, J.: Visual discrimination of shape by humans. Quart. J. exp. Psychol., 14, 1964, 272-276
- Carmichael, L.: Another "hidden-figure" picture. Am. J. Psychol., 64, 1951, 137-138
- Carterette, E.C., Friedman, M.P. (eds.): Handbook of perception, vol. III: Biology of perceptual systems. New York: Academic Press 1973
- Casperson, R.C.: The visual discrimination of geometric forms. J. exp. Psychol., 40, 1950, 668-681
- Cavanagh, J.P., Chase, W.G.: The equivalence of target and nontarget processing in visual search. Percept. Psychophys., 9, 1971, 493-495
- Cermak, L.S.: Human memory: Research and theory. New York: Ronald 1972
- Chapman, L.F., Walter, R.D., Markham, C.H., Rand, R.W., Crandall, P.H.: Memory changes induced by stimulation of hippocampus or amygdala in epilepsy patients with implanted electrodes. Trans. Neuro-. Ass., 92, 1967, 50-56
- Cheatham, P.G.: Visual perceptual latency as a function of stimulus brightness and contour shape. J. exp. Psychol. 43, 1952, 369-380
- Cherry, E.C.: Some experiments on the recognition of speech with one and two ears. J. Acoust. Soc. Am., 25, 1953, 975-979

- Chow, S.L., Murdock, B.B. jr.: The effect of a subsidiary task on iconic memory. *Memory & Cognition*, 3, 1975, 678-688
- Cleland, B.G., Levick, W.R.: Brisk and sluggish concentrically organized ganglion cells of the cat's retina. *J. Psychol.*, 240, 1974, 421-456 (a)
- Cleland, B.G., Levick, W.R.: Properties of rarely encountered types of ganglion cells in the cat's retina and an overall classification. *J. Psychol.* 240, 1974, 457-492 (b)
- Clement, D.E., Varnadoe, K.W.: Pattern uncertainty and the discrimination of visual patterns. *Percept. Psychophys.* 2, 1967, 427-431
- Cofer, C.N.: A comparison of logical and verbatim learning of prose passages of different length. *Am. J. Psychol.*, 54, 1941, 1-20
- Cohen, J.J.: Pattern recognition processes investigated through visual search behavior. *Dis. A. Int.*, 1972, vol. 32 (10-B), 6024
- Cohen, V.V.R., Pew, R.W.: Small-size target sets in visual search under accuracy set. Paper presented at the meeting of the Midwestern Psychological Association, Cincinnati, April-May, 1970
- Collonnier, M.L.: Structural design of the reocortex. In: Eccles (ed.): *Brain and conscious experience*. New York: Springer 1966
- Coltheart, M.: *Readings in cognitive psychology*. Toronto: Holt, Rinehart & Winston of Canada 1972
- Coltheart, M., Lea, C.D., Thomson, K.: In defence of iconic memory. *Quart. J. exp. Psychol.*, 26, 1974, 633-641
- Coltheart, M.: Iconic memory: A reply to Professor Holding. *Memory & Cognition*, 3, 1975, 42-48
- Corcoran, D.W.J.: *Pattern recognition*. Harmondsworth: Penguin 1971
- Corkin, S.: Tactually-guided maze-learning in man: Effects unilateral cortical excisions and hippocampal excisions. *Neuropsychologia*, 3, 1965, 339-351

- Corcin, S.: Acquisition of motor skill after bilateral medial temporal lobe excision. *Neuropsychologia*, 6, 1968, 225-265
- Coules, J., Lekarczyk, M.A.: Observer tolerance of form transformation as a function of form complexity. USAF ESD Tech. Rep. nr. 63 - 135, 1963
- Creutzfeldt, O., Fuster, J.M., Herz, A., Straschill, M.: Some problems of information transmission in the visual system. In: Eccles, J.C. (ed.): *Brain and conscious experience*. New York: Springer 1966
- Cronly-Dillon, J.R., Sutherland, N.S., Wolfe, J.B.: Intra-retinal transfer of a learned visual shape discrimination in goldfish after section and regeneration of the optic nerve brachia. *Exp. Neurol.*, 15, 1966, 455-462
- Crook, M.N.: Fadsimile-generated analogues for instrumental displays. In: Wulfeck, J.W., Taylor, J.H. (eds.): *Form discrimination as related to military problems*. Washington, D.C.: Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Coun., 1957, 85-98
- Curtis, J.N., Forster, W.S.: Size vs. intensity as a determiner of attention. *Am. J. Psychol.*, 28, 1917, 293-296
- Dale, H.C.A.: When recognition is no better than recall. *Nature*, 211, 1966, 324
- Dale, H.C.A.: Short-term memory for visual information. *Brit. J. Psychol.*, 64, 1973, 1-8
- Dallenbach, K.M.: The effect of practice upon visual apprehension in school children. *J. Educ. Psychol.*, 5, 1914, 321-334, 387-404
- Darley, D.F., Murdock, B.B. jr.: Effects of prior free recall testing on final recall and recognition. *J. exp. Psychol.*, 93, 1971, 66-73
- Day, H.: Evaluations of subjective complexity, pleasingness and interestingness for a series of random polygons varying in complexity. *Percept. Psychophys.*, 2, 1967, 281-286
- Dean, P.: Effects of inferotemporal lesions on the behavior of monkeys. *Psych. Bull.*, 83, 1976, 41-71

- Dearborn, G.V.N.: Recognition under objective reversal. Psych. Rev., 6, 1899, 395-406
- Dember, W.N.: The psychology of perception. San Francisco Holt, Rinehart & Winston 1960
- Den Heyer, K., Barret, B.: Selective loss of visual and verbal informations in STM by means of visual and verbal interpolated tasks. Psych. Sci., 25, 1971, 100-102
- Derks, P.L., Calder, E.S.: Information processing and verbal labels: The Stroop color-word test. Paper presented at the meeting of the Eastern Psychological Association, Philadelphia 1969
- Deutsch, J.A.: A theory of shape recognition. Brit. J. Psychol., 46, 1955, 30-37
- Deutsch, J.A.: The plexiform zone and shape recognition in the octopus. Nature, 188, 1960, 443-446
- Deutsch, J.A.: A system for shape recognition. Psych. Rev., 69, 1962, 492-500
- Deutsch, J.A., Deutsch, D.: Physiological Psychology. Homewood, Illinois: Dorsey Press 1973
- Dick, A.O.: Relations between the sensory register and short-term storage in tachistoscopic recognition. exp. Psychol., 82, 1969, 279-284
- Dick, A.O.: On the problem of selection in short-term visual (iconic) memory. Can. J. Psychol., 25, 1971, 250-263
- Dick, A.O.: Iconic memory and its relation to perceptual processing and other memory mechanisms. Percept. Psychophys., 16, 1974, 575-596
- Dick, A.O., Loader, R.: Structural and functional components in the processing, organization, and utilization of tachistoscopically presented information. Techn. Rep. 74-5, Center for Visual Science, University of Rochester. 1974
- Djang, S.S.: The role of past experience in the visual apprehension of masked forms. J. exp. Psychol., 30, 1937, 29-59
- Dodwell, P.C.: Shape recognition in rats. Brit. J. Psychol., 48, 1957, 221-229

- Dodwell, P.C.: A coupled system for coding and learning in shape discrimination. *Psych. Rev.*, 71, 1964, 148-159
- Dodwell, P.C.: Nomalous transfer effects after shape discrimination training in the rat. *Psych. Sci.*, 3, 1965, 97-98
- Dodwell, P.C.: Visual pattern recognition. New York: Holt, Rinehart & Winston 1970
- Dodwell, P.C.: Perceptual processing: Stimulus Equivalence and pattern recognition. New York: Appleton-Century-Crofts 1971
- Doyle, W.: Recognition of sloppy, hand-printed characters. *Proc. West. Joint Computer Conf.*, San Franzisco, Calif., 1960
- Drachman, D.A., Arbit, J.: Memory and the hippocampal complex: II. Is memory a multiple process. *Arch. Neur.*, 15, 1966, 52-61
- Drösler, J.: Das beidäugige Raumsehen. In: W. Metzger (Hrsg.): *Hbb. d. Psychol.* I/1. Göttingen: Hogrefe 1966
- Dürr, E.: Die Lehre von der Aufmerksamkeit.
- Dulany, D.E., jr.: Unaware of where's awareness: Some verbal operants - notates, monents, and notants. In: Erikson, C.W. (ed.): *Behavior and awareness.* Durham N.C.: Duke University Press, 1962
- Duncker, K.: The influence of past experience upon perceptual properties. *Am. J. Psychol.*, 52, 255-265
- Durant, M.J., Yussen, S.R.: Effect of memory on distinctive features and schema learning. *J. exp. Psychol.: Human Learning & Memory*, 2, 1976, 315-312
- Dyer, F.N.: The Stroop phenomenon and its use in the study of perceptual, cognitive, and response processes. *Memory & cognition*, 1, 1973, 106-120
- Ebbinghaus, H.: *Über das Gedächtnis.* Leipzig 1885. Nachdruck: Amsterdam: Bonset 1966
- Ebbinghaus, H.: *Grundzüge der Psychologie*, Bd. 1. Leipzig: Veit 1911³

- Edelman, S.K., Karas, G.G., Cohen, B.J.: The relative contributions of complexity and symmetry to the perception of form. Paper presented at Midwest Psychological Association, Chicago 1961
- Eccles, J.C.: Cerebral synaptic mechanisms. In: Eccles, J.C. (ed.): Brain and conscious experience. New York: Springer 1966 (a)
- Eccles, J.C.: Conscious experience and memory. In: Eccles, J.C. (ed.): Brain and conscious experience. New York: Springer 1966 (b)
- Edmonds, E.M., Mueller, M.R., Evans, S.H.: Effects of knowledge of results on mixed schema discrimination. Psych. Sci., 6, 1966, 377-378
- Edwards, A.L.: Techniques of attitude scale construction. New York: Appleton-Century-Crofts 1957
- Egan, J.P.: Recognition memory and the operating characteristic. Technical note AFCRC-TN-58-51. Hearing and Communication Laboratory, Indiana University 1958
- Egan, J.P.: Signal detection theory and ROC analysis. New York: Academic Press 1975
- Egan, J.P., Schulman, A.I., Greenberg, G.Z.: Operating characteristics determined by binary decisions and by ratings. J. Acoust. Soc. Am., 31, 1957, 768-773
- Egeth, H.: Parallel versus serial processes in multidimensional stimulus discrimination. Percept. Psychophys. 1, 1966, 245-252
- Egeth, H.: Selective attention. Psych. Bull., 67, 1967, 41-57
- Egeth, H., Atkinson, J., Gilmore, G., Marcus, N.: Factors affecting processing mode in visual search. Percept. Psychophys., 13, 1973, 394-402
- Egeth, H., Jonides, J., Wall, S.: Parallel processing of element displays. Cognit. Psych., 3, 1972, 669-698
- Egeth, H., Pachella, R.: Multidimensional stimulus identification. Percept. Psychophys., 5, 1969, 341-346

- Eijkman, E., Vendrick, A.J.H.: Can a sensory system be specified by its internal noise? J. Acoust. Soc. Am., 37, 1965, 1102-1109
- Elliot, E.S., Wills, E.J., Goldstein, A.G.: The effects of discrimination training on the recognition of white and oriental faces. Bull. Psychon. Soc., 2, 1973, 71-73
- Ellis, H.C., Feuge, R.L.: Transfer of predifferentiation training of gradients of generalization in shape recognition. J. exp. Psychol., 71, 1966, 539-542
- Englund, S.A., Lundberg, I.: Discriminative learning: Some restricting criteria and illustrative experiments. Reports from the Psychological Laboratory, Univ. of Stockholm, 1963, nr. 142
- Engstrand, R.D., Moeller, G.: The relative legibility of ten simple geometric figures. Am. Psychol., 17, 1962, 386 (abstract)
- Ephrussi, P.: Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Gedächtnis. Z. Psychol., 37, 1904, 56-103, 161-234
- Epstein, W.: The known-size apparent-distance hypothesis. Am. J. Psychol., 74, 1961, 333-346
- Epstein, W.: A test of two interpretations of the apparent size effect in a distorted room. J. exp. Psychol., 63, 1962, 124-128
- Epstein, W., Rock, I.: Perceptual set as an artifact of recency. Am. J. Psychol., 73, 1960, 214-228
- Erdmann, B.: Grundzüge der Reproduktionspsychologie. Berlin: De Gruyter 1920
- Eriksen, C.W.: (ed.): Behavior and awareness. Durham, N.C.: Duke University Press 1962
- Erismann, T., Kohler, I., Scheffler, P.: Verkehrte Welten. Wiss. Film, wien 1957
- Esper, E.A.: A history of psychology. Philadelphia: Saunders 1964

- Estes, W.K., Dapolito, F.: Independent variation of information storage and retrieval processes in paired-associate learning, *J. exp. Psychol.*, 75, 1976, 18-26
- Evans, C.R.: Some studies of pattern perception using stabilized retinal image. *Brit. J. Psych.*, 56, 1965 121-133
- Evans, C.R., Edmonds, E.M.: Schema discrimination as a function of training. *Psych. Sci.*, 5, 1966, 303-30
- Ewert, P.H.: A study of the effect of inverted retinal stimulation upon spatially coordinated behavior. *Genet. Psychol. Mon.*, 7, 1930, 177-363
- Fassnacht, G.: Zur negativen Beschleunigung der Lernkurve. 126, 1974, 1-42
- Fechner, G.T.: *Element der Psychophysik.* Leipzig 1860
- Fehrer, E.V.: An investigation of learning of visually perceived forms. *Am. J. Psychol.*, 47, 1935, 187-221
- Feigenbaum, E.A.: Simulation of verbal learning behavior. In Feigenbaum, E.A., Feldman, J. (eds.): *Computer and thought.* New York: McGraw-Hill, 1963, 297-309
- Fernberger, S.W.: An early example of a "hidden-figure" picture. *Am. J. Psychol.*, 36, 1950, 448-449
- Fischer, G.L., jr. (ed.): *Optical character recognition:* Washington: Spartan Books 1962
- Fitts, P.M., Weinstein, M., Rappaport, M., Anderson, N.S., Leonard, J.A.: Stimulus correlates of visual pattern recognition. *J. exp. Psychol.*, 51, 1955 1-11
- Flowers, J.H., Stoup, C.M.: Selective attention between word shapes and colors in speeded classification and vocalization task. *Memory & Cognition*, 5, 1977 299-307
- Förstner, K., Bamberg, G., Henn, R.: *Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung.* Meisenheim am Glan: Hain 1973
- Foppa, K.: *Lernen, Gedächtnis, Verhalten.* Köln: Kiepenheuer Witsch 1965

- Fox, W.R.: Visual discrimination as a function of stimulus size, shape, and edge gradient. In: Wulfeck, J.W., Taylor, J.H. (eds.): Form discriminations as related to military problems. Washington, D.C.: Nat. Acad. Sci. - Nat. Res. Coun., 1957, 168-175
- Frederiks, J.A.M.: The agnosias. Disorders of perceptual recognition. In: Vinken, P.J., Bruyn, G.W. (eds.): Handbook of Clinical Neurology, vol. IV: Disorders of speed, perception, and symbolic behavior. Amsterdam: North-Holland Publishing Company 1969
- French, R.S.: The accuracy of discrimination of dot patterns as a function of angular orientation of the stimuli. USAF ATr. Train. Command, HRRC, Res. Bull., 53-3, 1953
- French, R.S.: Identification of dot patterns from memory as a function of complexity. J. exp. Psychol., 47, 1954, 22-26
- Freund, R.D., Loftus, G.R., Atkinson, R.C.: Application of multiprocess models for memory to continuous recognition tasks. J. Math. Psych., 6, 1969, 576-594
- Friedline, M., Dallerbach, K.: Distance from point of fixation vs. intensity as a determiner of attention. Am. J. Psychol., 41, 1929, 464-468
- Fröbes, J.: Lehrbuch der experimentellen Psychologie, Bd. I. Freiburg im Br.: Herder 1917
- Fryklung, I.: Effects of cued-set spatial arrangement and target-background similarity in the partial-report paradigm. Percept. Psychophys., 17, 1975, 375-386
- Gaffan, D.: Recognition memory in animals. In: Brown, J. (ed.): Recognition and recall. London: Wiley 1976
- Gaffan, D.: Recognition memory after short retention intervals in fornix-transsected monkeys. Quart. J. exp. Psychol., 29, 1977, 577-588
- Gagné, R.M., Baker, K.E.: Transfer of discrimination training to a motor task. J. exp. Psychol., 40, 1950, 314-328

- Gagné, R.M., Gibson, J.J.: Research on the recognition of aircraft. In: Gibson, J.J. (ed.): Motion picture training and research. Report nr. 7, Army Air Force Aviation Psychology Program, Research Reports, U.S. Gov. Printing Office, Washington D.C., 1947
- Galambos, R., Morgan, C.T.: The neural basis of learning. In: Field, J., Magoun, H.W., Hall, V.E. (eds.): Handbook of Physiology, sect. 1: Neurophysiology, vol III. Washington, D.C.: American Physiological Society 1960
- Ganz, L., Wilson, P.D.: Innate generalization of a form discrimination without contouring eye movements. *comp. physiol. Psychol.*, 63, 1967, 258-269
- Garner, W.R.: An informational analysis of absolute judgement of loudness. *J. exp. Psychol.*, 46, 1953, 373-384
- Garner, W.R.: Uncertainty and structure as psychological concepts. New York: Wiley 1962
- Garner, W.R.: The processing of information and structure. New York: Wiley 1974
- Garner, W.R., Clement, D.E.: Goodness of pattern and pattern uncertainty. *J. Verb. Learn.*, 2, 1963, 446-452
- Garner, W.R., Hake, H.W.: The amount of information in absolute judgements. *Psych. Rev.*, 58, 1951, 446-459
- Garner, W.R., Sutliff, D.: The effect of goodness on encoding time in visual pattern discrimination. *Percept Psychophys.*, 16, 1974, 426-430
- Gehring, R.E., Toggia, M.P., Kimble, G.A.: Recognition memory for words and pictures at short and long retention intervals. *Memory & Cognition*, 4, 1976, 256-266
- Gelb, A.: Die Farbkonstanz der Sehdinge. In: Hdb. d. normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12/1 Berlin: Springer 1929
- Ghent, L.: Perception of overlapping and embedded figures in children of different ages. *Am. J. Psychol.*, 64, 1956, 574-587
- Gibson, E.J.: Retroactive inhibition as a function of degree of generalization between tasks. *J. exp. Psychol.*, 28, 1941, 93-115

- Gibson, E.J.: Improvement in perceptual judgements as function of controlled practice or training. *Psych. Bull.*, 50, 1953, 401-431
- Gibson, E.J.: Perceptual learning. *Ann. Rev. Psych.*, 14, 1963, 29-56
- Gibson, E.J.: Principles of perceptual learning and development. New York: Appleton-Century-Crofts 1969
- Gibson, E.J., Bergman, R.: The effect of training on absolute estimation of distance over the ground. *J. exp. Psychol.*, 48, 1954, 473-482
- Gibson, E.J., Gibson, J.J., Pick, A.D., Osser, H.: A developmental study of the discrimination of letter-like forms. *J. comp. physiol. Psychol.*, 55, 1962, 897-906
- Gibson, E.J., Osser, H., Schiff, W., Smith, J.: An analysis of critical features of letters, tested by a confusion matrix. Final report on Cooperative Research Project nr. 639, Office of Education, Department of Health, Education, and Welfare, 1963
- Gibson, J.J.: The reproduction of visually perceived forms. *J. exp. Psychol.*, 12, 1929, 1-39
- Gibson, J.J.: A critical review of the concept of set in contemporary experimental psychology. *Psych. Bull.*, 38, 1941, 781-817
- Gibson, J.J.: The senses considered as perceptual systems. New York: Houghton Mifflin 1966
- Gibson, J.J., Gibson, E.J.: Perceptual learning: Differentiation or enrichment? *Psych. Rev.*, 62, 1955, 32-41
- Gibson, J.J., Robinson, D.: Orientation in visual perception: The recognition of familiar plane forms in differing orientations. *Psych. Monogr.*, 46, 1935, nr. 210
- Gillam, B.J.: Perceived common rotary motion of ambiguous stimuli as a criterion of perceptual grouping. *Percept. Psychophys.*, 11, 1972, 99-101
- Gillam, B.J.: New evidence for "closure" in perception. *Percept. Psychophys.*, 17, 1975, 521-524

- Gjeris, F.: Traumatic lesions of the visual pathways. In: Vinken, P.J., Bruyn, G.W. (eds.): Handbook of Clinical Neurology, vol. 24: Injuries of the Brain and Skull, part II. Amsterdam: North-Holland Publishing Company 1976
- Glanville, A.D., Dallenbach, K.M.: The range of attention. *Am. J. Psychol.*, 41, 1929, 207-236
- Glanzer, M.: Storage mechanism in recall. In: Bower, G.H. (ed.): The psychology of learning and motivation. New York: Academic Press 1972
- Glezer, V.D., Ivanoff, V.A., Tscherbach, T.A.: Investigation of complex and hypercomplex receptive fields of visual cortex of cat as spatial frequency filters. *Vis. Res.*, 13, 1973, 1875-1904
- Globus, A., Rosenzweig, M.R., Bennet, E.L., Diamond, M.C.: Effects of differential experience on dendritic spine counts in rat cerebral cortex. *J. comp. physiol. Psychol.*, 82, 1973, 175-181
- Glucksberg, S., Cowen, G.N.: Memory for nonattended auditory material. *Cognit. Psych.*, 1, 1970, 149-156
- Glushko, R.J.: Pattern goodness and redundancy revisited: Multidimensional scaling and hierarchical clustering analyses. *Percept. Psychophys.*, 17, 1975, 158-162
- Goldiamond, I., Hawkins, W.F.: Vexierversuch: The log relationship between word frequency and recognition obtained in the absence of stimulus words. *J. exp. Psychol.*, 56, 1958, 457-463
- Goldstein, A.G.: Familiarity and apparent complexity of random shapes. *J. exp. Psychol.*, 62, 1961, 594-597
- Gomulicki, B.: The development and present status of trace theory of memory. *Brit. J. Psych., Monogr. Suppl.* nr. 29, 1953
- Gottschalt, K.: Über den Einfluß der Erfahrung auf die Wahrnehmung von Figuren. I.: *Psych. Forsch.*, 8, 1921, 216-317. II.: *Psych. Forsch.*, 12, 1929, 1-87
- Granit, R.: Sensory mechanisms of the retina. New York: Oxford Univ. Press 1955

- Grasselli, A. (ed.): Automatic interpretation and classification of images. New York: Academic Press 1969
- Graumann, C.F.: Grundlagen einer Phänomenologie und Psychologie der Perspektivität. Berlin: De.Gruyter 1960
- Graumann, C.F.: Bewußtsein und Bewußtheit. Probleme und Befunde der psychologischen Bewußtseinsforschung. In: Metzger, W. (Hrsg.): Hdb. der Psychologie, Bd. I/1. Göttingen: Hogrefe 1966 (a)
- Graumann, C.F.: Nichtsinnliche Bedingungen des Wahrnehmens. In: Metzger, W. (ed.): Hdb. d. Psychologie, Bd. I/1. Göttingen: Hogrefe 1966 (b)
- Green, D.M., Swets, J.A.: Signal detection theory and psychophysics. New York: Wiley 1966
- Greenhouse, S.W., Geisser, S.: On methods in the analyses of profile data. Psychometr., 24, 1959, 95-112
- Greenough, W.T.: Experimental modification of the developing brain. Am. Sci., 63, 1975, 37-46
- Greenough, W.T., Madden, T.C., Fleischmann, T.B.: Effects of isolation, daily handling, and enriched rearing on maze learning. Psych. Sci., 27, 1972, 279-280
- Greenough, W.T., Volkmar, F.R., Juraska, J.M.: Effects of rearing complexity on dendritic branching in frontolateral and temporal cortex of the rat. Exp. Neurol., 41, 1973, 371-378
- Gregory, R.L.: Auge und Gehirn. München 1966, Fischer Taschenbuch 1972
- Gregory, R.L.: Concepts and mechanisms of perception. London: Druchworth 1974
- Gregory, R.L., Wallace, J.G.: Recovery from early blindness. Exp. Psychol. Soc. Monogr., 1963, nr. 2
- Grill, D.P.: Variables influencing the mode of processing of complex stimuli. Percept. Psychophys., 10, 1971, 51-57
- Gross, C.G.: Inferotemporal cortex and vision. In: Stellar, E., Sprague, J.M. (eds.): Progress in physiological psychology, vol. V. New York: Academic Press 1973

- Gross, C.G., Roch-Miranda, C.E., Bender, D.B.: Visual properties of neurons in inferotemporal cortex of the macaque. *J. Neurophysiol.*, 35, 1972, 96-111
- Gulliksen, H.: Studies of transfer of response. In: *Relative versus absolute factors in the discrimination of size by the white rat*. *J. Gen. Ps.*, 40, 1933, 37-50
- Guzmán, A.: Decomposition of a visual scene into three-dimensional bodies. In: Graselli, A. (ed.): *Automatic interpretation and classification of images*. New York: Academic Press 1969
- Haber, R.N.: A replication of selective attention and coding in visual perception. *J. exp. Psychol.*, 67, 1960, 402-404
- Haber, R.N.: The nature of the effect of set on perception. *Psych. Rev.*, 73, 1966, 335-351
- Haber, R.N.: (ed.): *Contemporary theory and research in visual perception*. London: Holt, Rinehart & Winston 1968
- Haber, R.N.: *Information-processing approaches to visual perception*. New York: Holt, Rinehart & Winston 1969
- Haber, R.N., Hershenon, M.: Effects of repeated brief exposures on the growth of a percept. *J. exp. Psychol.*, 69, 1960, 40-46
- Haber, R.N., Hershenon, M.: *The psychology of visual perception*. London: Holt, Rinehart & Winston 1973
- Haber, R.N., Nathanson, L.S.: Post-retinal storage? Park's mel as seen through the eye of a needle. *Percept. Psychophys.*, 3, 1968, 349-355
- Haber, R.N., Standing, L.G.: Direct measures of short-term visual storage. *Quart. J. exp. Psychol.*, 21, 1968, 43-54
- Haber, R.N., Standing, L.G.: Direct estimates of the apparent duration of a flash. *Canad. J. Psychol.*, 24, 1970, 216-229
- Hake, H.W.: Contributions of psychology to the study of pattern vision. WADC Techn. Rep. 57-621, 1957

- Hake, H.W., Rodwan, A.S.: Perception and recognition. In: Sidowski (ed.): Experimental methods and instrumentation in Psychology. New York: McGraw-Hill 1966
- Hall, R., Swane, D., Jenkins, R.A.: Memory for physical and semantic features of visual material in a shadowing task. J. exp. Psychol., 100, 1973, 426-428
- Hall, R., Swane, R.: Memory in a bisensory selective attention task. Quart. J. exp. Psychol., 25, 1973, 309-315
- Hamburger, R.: Neue Theorie der Wahrnehmung und des Denkens. Berlin: Stilke 1927
- Harper, R.S.: The perceptual modification of colored figures. Am. J. Psychol., 66, 1953, 86-89
- Harris, C.S., Haber, R.N.: Selective attention and coding in visual perception. J. exp. Psychol., 65, 1963, 328-333
- Hastorf, A.H.: The influence of suggestion on the relation between stimulus size and perceived distance. J. Psych., 29, 1950, 195-217
- Hawkins, C.J.: Experiments on memory types. Psych. Rev., 4, 1897, 289-294
- Hayes, J.R.M.: Memory span for several vocabularies as a function of vocabulary size. In: Quart. Progr. Rep., Cambridge, Mass.: Acoustics Laboratory, MIT, Jan.-June 1952
- Hayes, W.N.: Shape recognition as a function of viewing time, eye movements, and orientation of the shape. Unpubl. doct. diss., Princeton Univ., 1961, Diss, Abstr., 1962, 22, 2474
- Hebb, D.O.: The innate organization of visual activity: I. Perception of figures by rats reared in total darkness. J. Gen. Ps., 51, 1937, 101-126 (a)
- Hebb, D.O.: The innate organization of visual activity: II. Transfer of response in the discrimination of brightness and size by rats reared in total darkness. J. comp. Psych., 24, 1937, 277-299 (b)
- Hebb, D.O.: The organization of behavior. New York: Wiley 1949

- Held, R.: Adaption to rearrangement and visual-spatial aftereffects. *Psych. Beitr.*, 6, 1962, 439-450
- Held, R., Hein, A.: Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior. *J. comp. physiol. Psychol.*, 56, 1963, 872-876
- Helson, H.: Adaption-level theory. New York: Harper & Row 1964
- Helson, H., Fehrer, E.V.: The role of form in perception. *Am. J. Psychol.*, 44, 1932, 79-102
- Henle, M.: An experimental investigation of past experience as a determinant of visual form perception. *J. exp. Psychol.*, 30, 1942, 1-22
- Henmon, V.A.: The relation between learning and retention amount to be learned. *J. exp. Psychol.*, 2, 1919, 476-484
- Henning, H.: Die Aufmerksamkeit. In: *Abderhaldens Hdb. d. Arbeitsmethoden*, Abt. VI/B. Berlin: Urban & Schwarzenberg 1926
- Herriot, P., Green, J.M., McConkey, R.: Organisation and memory. London: Methuen 1973
- Hershenson, M.: Development of the perception of form. *Psych. Bull.*, 67, 1967, 326-226
- Hilgard, E.R.: What becomes of the input from the stimulus? In: Eriksen, D.W. (ed.): *Behavior and awareness*. Durham, N.C.: Duke University Press 1962
- Hines, D.: Immediate and delayed recognition of sequentially presented random shapes. *J. exp. Psychol.: Human Learning and Memory*, 1, 1975, 634-639
- Hines, D., Smith, S.: Recognition of random shapes followed at varying delays by attended or unattended shapes, digits, and line grids. *J. exp. Psychol.: Human Learning and Memory*, 3, 1977, 29-36
- Hochberg, C.B., Hochberg, J.E.: Familiar size and the perception of depth. *J. Psychol.*, 34, 1952, 107-114
- Hochberg, J., McAlister, E.: A quantitative approach to figural "goodness". *J. exp. Psychol.*, 46, 1953, 361-364

- Höffding, H.: Über das Wiedererkennen. Vierteljahrsschr. f. wissenschaftliche Philosophie, 13, 1889, 420 ff.
- Hörmann, H.: Bedingungen für das Behalten, Vergessen und Erinnern. In: Bergius, R.: Hdb. d. Psychologie, Bd. I/2. Göttingen: Hogrefe 1964
- Hofstätter, P.R.: Psychologie. Frankfurt/Main: Fischer-Lexikon 1957
- Holding, D.H.: Brief visual memory for English and Arabic letters. Psych. Sci., 28, 1972, 241-242
- Holding, D.H.: Sensory storage reconsidered. Memory & Cognition, 3, 1975, 31-41 (a)
- Holding, D.H.: A rejoinder. Memory & Cognition, 3, 1975, 49-50 (b)
- Holmes, G.: The organization of the visual cortex in man. Proc. Roy. Soc. (London), 132 B, 1945, 348-361
- Holst, E. von: Vom Wesen der Ordnung im Zentralnervensystem. Naturwiss., 25, 1937, 625-631, 641-647
- Holst, E. von: Die relative Koordination als Phänomen und als Methode zentralnervöser Funktionsanalyse. Erg. Physiol., 42, 1939, 228-306
- Holst, E. von: Aktive Leistungen der menschlichen Gesichtswahrnehmung. St. Gen., 10, 1957, 231-243
- Holst, E. von, Mittelstaedt, H.: Das Reafferenzprinzip. Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie. Naturwiss., 37, 1950, 464-476
- Homa, D., Coury, B.: Perceptual selectivity and the fate of unemphasized information in a stimulus complex. Memory & Cognition, 5, 1977, 347-354
- House, B.J., Zeaman, D.: Transfer of a discrimination from objects to patterns. J. exp. Psychol., 59, 1960, 298-302
- Houston, J.P., Garskof, B.E., Silber, D.E.: The informational basis of judged complexity. J. Gen. Ps., 72, 1965, 277-284
- Hovland, D.I.: Experimental studies in rote-learning theory: VII. Distribution of practice with varying length of list. J. exp. Psychol., 27, 1940, 271-284

- Hovland, C.I., Kurtz, K.H.: Experimental studies in rote-learning theory: X. Prelearning syllable familiarization and length-difficulty relationship. J. exp. Psychol., 44, 1952, 31-39
- Howes, D.H., Solomon, R.L.: Visual duration threshold as a function of word probability. J. exp. Psychol., 41, 1951, 401-410
- Hubel, D.H., Wiesel, T.N.: Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex. J. Physiol., 148, 1959, 574-591
- Hubel, D.H., Wiesel, T.N.: Receptive fields of optic nerve fibres in the spider monkey. J. Physiol., 154, 1960, 572-580
- Hubel, D.H., Wiesel, T.N.: Integrative action in the cat's lateral geniculate body. J. Physiol., 155, 1961, 385-398
- Hubel, D.H., Wiesel, T.N.: Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. J. Physiol., 160, 1962, 106-154
- Hubel, D.H., Wiesel, T.N.: Receptive fields of cells in striate cortex of very young, visually inexperienced kittens. J. Neurophysiol., 26, 1963, 994-1002
- Hubel, D.H., Wiesel, T.N.: Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual areas (18 and 19) of the cat. J. Neurophysiol., 28, 1965, 228-289
- Hubel, D.H., Wiesel, T.N.: The period of susceptibility to physiological effects of unilateral eye closure in kittens. J. Physiol., 206, 1970, 419-436
- Hyman, R., Hake, H.W.: Form recognition as a function of the number of forms which can be presented for recognition. USAF WADC TR 54-164, 1954
- Isaacson, R.L.: Hippocampal destruction in man and other animals. Neuropsychologia, 10, 1972, 47-64
- Isaacson, R.L.: The limbic system. New York: Plenum Press 1974/78
- Ittelson, W.H.: The constancies in perceptual theory. Psychol. Rev., 58, 1951, 285-294 (a)

- Ittelson, W.H.: Size as a cue to distance: Static localization. *Am. J. Psychol.*, 64, 1951, 54-67 (b)
- Ittelson, W.H.: Size as a cue to distance: Radial motion. *Am. J. Psychol.*, 64, 1951, 188-202 (c)
- Ittelson, W.H.: The Ames demonstrations in perception. Princeton, N.J.: Princeton Univ. Press 1952
- Ittelson, W.H.: Visual space perception. New York: Springer 1960
- Ittelson, W.H.: Perception and transactional psychology. In: Koch, S. (ed.): *Psychology: A study of a science*, vol. IV. New York: McGraw-Hill 1962
- Ittelson, W.H., Cantril, H.: *Perception: A transactional approach*. Garden City: Doubleday 1954
- Ittelson, W.H., Kilpatrick, F.P.: Equivalent configurations and the monocular and binocular distorted rooms. In: Kilpatrick, F.P. (ed.): *Human behavior from the transactional point of view*. Hannover, N.H.: Institute for Associated Research, 1952, 41-55.
- Jacobs, W.: Über das Lernen mit äußerer Lokalisation. *Z. Psychol.*, 45, 1907, 43-77, 161-187
- Jacobsen, C.F.: Functions of the frontal association areas in primates. *Arch. Neur. Psych. (Chicago)*, 33, 1935, 558-569
- Jensen, A.R., Rohwer, W.D., jr.: The Stroop color-word test: A review. *Acta Psychol.*, 25, 1966, 36-93
- Jesinghaus, C.: Beiträge zur Methodologie der Gedächtnisuntersuchung. *Psych. St.*, 7, 1912, 377-477
- Jevons, W.S.: The power of numerical discrimination. *Nature*, 3, 1871, 281-282
- John, E., Schwartz, E.L.: The neurophysiology of information processing and cognition. *Ann. Rev. Psych.*, 29, 1978, 1-30
- Jones, M.K.: Imagery as a mnemonic aid after left temporal lobectomy: Contrast between material-specific and generalized memory disorders. *Neuropsychologia*, 12, 1974, 21-30
- Judd, C.H., Cowling, D.J.: Studies in perceptual development. *Psych. Monogr.*, 8, 1907, 349-369

- Julesz, B.: Binocular depth perception of computer-generated patterns. J. Bell Telephone Co., 39, 1960, 1125-1162
- Kagan, J., Lewis, M.: Studies of attention in the human infant. Merrill Palmer Q., 11, 1965, 95-127
- Kahneman, D.: Attention and effort. Englewood-Cliffs, N.J. Prentice-Hall 1973
- Kaneff, S. (ed.): Picture language machines. New York: Academic Press 1970
- Kaneko, H.: The perception time of different forms. Rep. Congr. Jap. Psychol. Assoc., 1938, 78-82
- Kaplan, I.T., Carvellas, T.: Scanning for multiple targets. Percept. Mot. Ski, 21, 1965, 239-243
- Kaplan, I.T., Carvellas, T., Metlay, W.: Visual search and immediate memory. J. exp. Psychol., 71, 1966, 488-493
- Katona, G.: Organizing and memorizing: Studies in the psychology of learning and teaching. New York: Hafner 1940
- Katzaroff, D.: Contribution à l'étude de la reconnaissance. Archives de psychologie, 11, 1911
- Kaufman, E.L., Lord, M.W., Reese, T.W., Volkman, J.: The discrimination of visual number. Am. J. Psychol. 62, 1949, 498-525
- Kesner, R.: A neural system analysis of memory storage and retrieval. Psych. Bull., 80, 1973, 177-203
- Kilpatrick, F.P.: Two processes in perceptual learning. J. exp. Psychol., 47, 1954, 362-370
- Kilpatrick, F.P.: Explorations in transactional psychology. New York: New York University Press 1961
- Kimble, G.A.: Classical conditioning and the problem of awareness. In: Erikson, C.W. (ed.): Behavior and awareness. Durham, N.C.: Duke University Press 1968
- Kimura, B.: Right temporal lobe damage. Arch. Neur., 8, 1963, 264-171
- Kintsch, W.: Memory and decision aspects of recognition learning. Psych. Rev., 74, 1967, 496-504

- Kjersted, C.L.: The form of the learning curves for memory.
Psych. Monogr., 26, 1919, nr. 5
- Klemmer, E.T., Frick, F.C.: Assimilation of information from
dot and matrix patterns. J. exp. Psychol., 45,
1953, 15-19
- Klix, F.: Information und Verhalten. Bern: Huber 1971
- Klüver, H.: An analysis of the effects of the removal of the
occipital lobes in monkeys. J. Psych., 2, 1936,
49-61
- Klüver, H., Bucy, P.C.: Preliminary analysis of functions of
the temporal lobes in monkeys. Arch. Neur. Psych.,
42, 1939, 979-1000
- Knors, C.: Experimentelle Untersuchungen über den Lernprozeß.
ges. Ps., 17, 1910, 297-361
- Koch, M.: Gedanken und Gedankenerinnerungen. In: Bergius, R.
(ed.): Hdb. d. Psychol., Bd. I/1. Göttingen:
Hogrefe 1964
- Köhler, W.: Nachweis einfacher Strukturfunktionen beim Schim-
pansen und beim Haushuhn. Berlin: Verlag der kö-
niglichen Akademie der Wissenschaften 1918
- Köhler, W.: die physischen Gestalten in Ruhe und im statio-
nären Zustand. Erlangen: Verlag der Philosophi-
schen Akademie 1920
- Köhler, W.: Gestalt psychology. New York: Liveright 1929
- Köhler, W.: The place of value in a world of facts. New York:
Liveright 1938
- Köhler, W.: Dynamics in psychology. New York: Liveright
1940
- Köhler, W.: On the nature of associations. Proc. Am. Philos.
Soc., 84, 1941, 489-502
- Köhler, W.: Perceptual organization and learning. Am. J.
Psychol., 71, 1958, 311-315
- Köhler, W.: Die Aufgabe der Gestaltpsychologie. Berlin: De
Gruyter 1971
- Köhler, W., Restorff, H. von: Analyse von Vorgängern im Spu-
renfeld. I.: Restorff, H. von: Über die Wirkung
von Bereichsbildungen im Spurenfeld. Psychol.
Forsch., 18, 1933, 299-342

- Köhler, W., Restorff, H. von: Analyse von Vorgängen im Spurenfeld. II.: Zur Theorie der Reproduktion, Psych. Forsch., 21, 1937, 56-112
- Köhler, W., Wallach, H.: Figural after-effects: An investigation of visual processes. Proc. Am. Philos. Soc., 88, 1944, 269-357
- Koffka, K.: Principles of gestalt psychology. London: Routledge & Kegan 1935
- Kohler, I.: Über Aufbau und Wandlung der Wahrnehmungswelt, insbesondere über "bedingte Empfindungen". Öster. Ak. Wiss., phil.-hist. Kl. 227/1. Wien: Rhoer 1951, 1-118
- Kohler, I.: Umbewöhnung im Wahrnehmungsbereich. Die Pyramide 3, 1953, 5-7
- Kohler, I.: Die Methode des Brillenversuchs in der Wahrnehmungspsychologie mit Bemerkungen zur Lehre der Adaptation. Z. exp. angew. Psychol., 3, 1956, 381-417
- Kohler, I.: Experiments with goggles. Sci. Amer., 206, 1962, 62-72
- Kohler, I.: Die Zusammenarbeit der Sinne und das allgemeine Adaptationsproblem. In: Metzger, W. (Ed.): Hdb. d. Psychol., Bd. I/1. Göttingen: Hogrefe 1966
- Kolers, P.A., Eden, M., Boyer, A.: Reading as a perceptual skill. MIT, Res. Lab. of Electronics, Quart. Prog. Rep., 74 (July), 1964, 214-217
- Kolers, P.A., Perkins, D.N.: Orientation of letters and the speed of recognition. Percept. Psychophys., 5, 1969, 275-280
- Kopfermann, H.: Psychologische Untersuchungen über die Wirkung zweidimensionaler Darstellungen körperlicher Gebilde. Psych. Forsch., 13 1930, 293-364
- Kornmüller, A.F.: Eine experimentelle Anästhesie der äußeren Augenmuskeln am Menschen und ihre Auswirkungen. J. Psych. Forsch., 41, 1931, 354-366
- Krauskopf, J., Duryea, R., Bitterman, M.E.: Threshold for verbal form: Further experiments. Am. J. Psychol., 1954, 427-440

- Krechner, L.: An experimental investigation of the principle of proximity in the visual perception of the rat. *J. exp. Psychol.*, 22, 1938, 497-523
- Kristofferson, M.W.: Effects of practice on character-classification performance. *Can. J. Psychol.*, 26, 1972, 54-60 (a)
- Kristofferson, M.W.: Types and frequency of errors in visual search. *Percept. Psychophys.*, 11, 1972, 325-328 (b)
- Kristofferson, M.W.: When item recognition and visual search functions are similar. *Percept. Psychophys.*, 12, 1972, 379-384 (c)
- Kristofferson, M.W., Green, M., Kristofferson, A.B.: When visual search functions look like item recognition functions. *Percept. Psychophys.*, 14, 1973, 186-192
- Kroll, D.B.A.: Visual short-term memory. In: Deutsch, D., Deutsch, J.A. (eds.): *Short-term memory*. New York: Academic Press 1975, 154-181
- Kühse, G.: Untersuchungen über die Objektivierung und Subjektivierung von Sinneseindrücken. *Ph. St.*, 19, 1902, 508-556
- Külpe, O.: *Verhandlungen über Abstraktion*. *Ber. d. Königl. Exp. Psychol.*, Gießen 1904
- Leamon, P., Tuttle, A.V.: Approximations to English 'AE' and short-term memory: Construction or storage? *J. exp. Psychol.*, 70, 1965, 386-393
- Leavley, K.M., Hubel, D.H.: The mechanism of vision: XI. A preliminary test of innate organization. *J. Gen. Ps.*, 45, 1934, 136-144
- Laughery, K.R., Fessler, P.K., Lenorowitz, D.R., Vodnick, D.A.: Time delay and similarity effects in facial recognition. *J. Appl. Psych.*, 59, 1974, 490-496
- Porter, W.A.: The effect of practice upon visualizing and upon reproduction of visual impressions. *J. Educ. Psych.*, 2, 1911, 11-22
- Reber, A.S.: Perceptual learning and attention. In: Estes, W.K. (ed.): *Handbook of learning and cognitive processes*, vol. IV: Attention and memory. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Ass. 1976

- Lashley, K.S.: The mechanisms of vision: IV. The cerebral areas necessary for pattern vision in the rat. J. comp. Neur., 53, 1931, 419-478
- Lashley, K.S.: The mechanisms of vision: XII. Nervous structures concerned in the acquisition and retention of habits based on reactions to light. Comp. Psychol. Monogr., 11, 1935, 43-79
- Lashley, K.S.: The mechanismus of vision: XVI. The functioning of small remnants of the visual cortex. J. comp. Neur., 70, 1939, 45-67
- Lashley, K.S.: The problem of cerebral organization in vision. In: Klüver, H.: Visual mechanisms. Biol. Sympos. 7, 1942, 301-322
- Lashley, K.S.: In search of the engram. In: Physiological mechanisms in animal behavior (symposium nr. 4, Soc. Exp. Biol.). New York: Academic Press 1950
- Lashley, K.S., Chow, K.L., Semmes, J.: An examination of the electrical field theory of the cerebral integration. Psych., Rev., 58, 1951, 123-136
- Lawrence, D.H., Laberg, D.L.: Relationship between recognition accuracy and order of repeating stimulus dimensions. J. exp. Psychol., 51, 1956, 12-18
- Leeper, R.: A study of a neglected portion of the field of learning - the development of sensory organization. J. Gen.
- Leppelsack, H.J., Vogt, M.: Responses of auditory neurons in the forebrain of a songbird to stimulation with species-specific sounds. J. comp. Physiol., 107, 1976, 263-274
- Lettvin, J.Y., Maturana, H.R., McCulloch, W.S., Pitts, W.H.: What the frog's eye tells the frog's brain. Inst. Radio Eng., 47, 1959, 1940-1951
- Levy, A.S., Heshka, S.: Similarity and the false recognition of prototypes. Bull. Psychon. Soc., 1, 1973, 181-183
- Lewin, K.: Vorsatz, Wille und Bedürfnis. Psych. Forsch., 7, 1920, 330-385
- Liebmann, S.: Über das Verhalten farbiger Formen bei Helligkeitsgleichheit von Figur und Grund. Psych. Forsch., 9, 1927, 300-353

- Lindsay, P.H., Taylor, M.M., Forbes, S.M.: Attention and multidimensional discrimination. *Percept. Psychophys.*, 4, 1968, 113-117
- Lindsley, D.B.: Psychophysiology and motivation. In: Jones, M.R. (ed.): *Nebraska Symposium on Motivation*. University of Nebraska Press 1957, 44-104
- Lipmann, O.: Die Wirkung der einzelnen Wiederholungen auf verschieden starke und verschieden alte Assoziationen. *Z. Psychol.*, 35, 1904, 195-233
- Locher, P.J., Nodine, C.F.: Influence of stimulus symmetry on visual scanning patterns. *Percept. Psychophys.*, 13, 1973, 408-412
- Lockhart, R.S., Murdock, B.B. jr.: Memory and the theory of signal detection. *Psych. Bull.*, 74, 1970, 100-109
- Loftus, G.R., Bell, S.M.: Two types of information in picture memory. *J. exp. Psychol.: Human Learning and Memory*, 1, 1975, 103-113
- Loftus, G.R., Loftus, E.F.: *Human memory. The processing of information*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Ass. 1976
- Long, J.B.: Reduced efficiency and capacity limitations in multidimension signal recognition. *Quart. J. exp. Psychol.*, 27, 1975, 599-614
- Long, J.B.: Division of attention between non-verbal signals: all-or-none or shared processing? *Quart. J. exp. Psychol.*, 28, 1976, 47-69 (a)
- Long, J.B.: Effect of task difficulty on the division of attention between nonverbal signals: independence or interaction? *Quart. J. exp. Psychol.*, 28, 1976, 179-192 (b)
- Long, J.: Division of attention between simultaneous and successive nonverbal signals varying in discriminability. *Quart. J. exp. Psychol.*, 29, 1977, 7-30
- Lorenz, K.: *Der Kumpan in der Umwelt des Vogels*. *J. Ornithologie*, 83, 1935. Nachdruck in: Lorenz, K.: *Über tierisches und menschliches Verhalten*, Ges. Abh. Bd. 1. München: Piper 1966, 115-282

- Lorenz, K.: Taxis und Instinkthandlung in der Eirollbewegung der Graugans. Z. Tierpsychologie, 2, 1938.
Nachdruck in: Lorenz, K.: Über tierisches und menschliches Verhalten, Bd. 1. München: Piper 1966, 343-379
- Lyon, D.O.: The relation of length of material to time taken for learning and the optimum distribution of time. J. Educ. Psychol., 5, 1914, 1-9, 85-91, 155-163
- Mach, E.: Analyse der Empfindungen. Jena: Fischer 1906⁵
- Mackintosh, J., Sutherland, N.S.: Visual discrimination of goldfish: The orientation of rectangles. Anim. Behav., 11, 1963, 135-141
- Mackworth, J.F.: Vigilance and attention. Harmondsworth: Penguin Books 1970
- Mager, A.: Die Enge des Bewußtseins. Eine experimentell-psychologische Untersuchung. In: Külpe, O., Bühler, K. (Edn.): Münchner Studien zur Psychologie und Philosophie, Bd. 1. Stuttgart 1920
- Mager, A.: Neue Versuche zur Messung der Geschwindigkeit der Aufmerksamkeitswanderung. ges. 53, 1925, 291-342
- Mager, A.: Zur Frage der Enge des Bewußtseins. ges. 74, 1930, 163-172
- Mckinney, J.P.: VErbal meaning and perceptual stability. Can. J. Psychol., 20, 1966, 237-242
- Mandler, J.M., Parker, R.E.: Memory for descriptive and spatial information in complex pictures. J. exp. Psychol.: Human Learning and Memory, 2, 1976, 38-48
- Mandler, J.M., Ritchey, G.H.: Long-term memory for pictures. J. exp. Psychol.: Human Learning and Memory, 3, 1977, 386-369
- Mandler, J.M., Seegmiller, D., Day, J.: On the coding of spatial information. Memory & Cognition, 5, 1977, 10-16
- Mandler, J.M., Stein, N.L.: Recall and recognition of pictures by children as a function of organisation and distractor similarity. J. exp. Psychol., 102, 1974, 657-669

- Markowitsch, H.J., Pritzel, M.: Comparative analysis of pre-frontal learning functions in rats, cats, and monkeys. *Psych. Bull.*, 84, 1977, 817-837
- McClelland, D.C., Atkinson, J.W.: The projective expression of needs I: The effect of different intensitiies of the hunger drive on perception. *J. Psych.*, 25, 1948, 205-222
- McDougall, R.: Recognition and recall. *J. Phil. Psychol. scient. Meth.*, 1, 1904, 229-233
- McFadden, H.B.: Visual acuity. Duncan, Oklah.: Optometric Extension Program 1940
- Meads, L.: Form vs. intensity as a determiner of attention. *Am. J. Psychol.*, 26, 1915, 150-151
- Merluzzi, T.V., Johnson, N.F.: The effect of repetition on iconic memory. *Quart. J. exp. Psychol.*, 26, 1974, 266-273
- Metelli, F.: Oggettualità, stratificazione e risalto nell' organizzazione percettiva di figura e sfondo. *Arch. Neur., Psich.*, 2, 1941
- Metlay, W., Sokoloff, M., Kaplan, I.T.: Visual search for multiple targets. *J. exp. Psychol.*, 85, 1970, 148-150
- Metzger, W.: *Psychologie*. Darmstadt: Steinkopff 1954
- Metzger, W.: Das einäugige Tiefensehen. In: Metzger, W. (Ed.): *Hdb. d. Psychol.*, Bd. I/1. Göttingen: Hogrefe 1966, 556-589 (a)
- Metzger, E.: Figuralwahrnehmung. In: Metzger, W. (Ed.): *Hdb. d. Psychol.*, Bd. I/1. Göttingen: Hogrefe 1966, 693-744 (b)
- Metzger, W.: *Gesetze des Sehens*. Frankfurt a. Main: Kramer 1975³
- Meumann, E.: *Ökonomie und Technik des Gedächtnisses*. Leipzig: Quelle & Meyer 1908
- Meyers, B., McCleary, R.A.: Interocular transfer of a pattern discrimination in pattern-deprived cats. *J. comp. physiol. Psychol.*, 57, 1964, 16-21
- Mibai, S.: The effects of repetitions upon retention. *J. exp. Psychol.*, 5, 1922, 145-151

- Miller, G.A.: The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psych. Rev.*, 63, 1956, 81-97
- Milner, B.: Les troubles de la mémoire accompagnant des lésions hippocampiques bilatérales. In: *Psychologie de l' Hippocampe*. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris 1962, 257-272
- Milner, B.: Visually-guided maze learning in man: effects of bilateral hippocampal, bilateral frontal, and unilateral cerebral lesions. *Neuropsychologia*, 3, 1965, 317-338
- Milner, B.: Amnesia following operation on the temporal lobes. In: Whitty, C.W.M., Zangwill, O.L. (eds.): *Amnesia*. London: Butterworths 1966
- Milner, B.: Memory and the medial temporal regions of the brain. In: Pribram, K.H., Broadbent, D.E. (eds.): *Biology of memory*. New York: Academic Press 1970
- Milner, B.: Disorders of learning and memory after temporal lobe lesions in man. *Clin. Neurosur.*, 19, 1972, 421-446
- Milner, B., Corkin, S., Teuber, H.-L.: Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of H.M.. *Neuropsychologia*, 6, 1968, 215-234
- Mittelstaedt, H.: The analysis of behavior in terms of control systems. In: Schaffner, B. (ed.): *Group processes*. Trans. 5. Conf. J. Macy Found., New York 1960, 45-84
- Mittenecker, E., Raab, E.: *Informationstheorie für Psychologen*. Göttingen: Hogrefe 1973
- Møllgaard, K., Diamond, M.C., Bennett, E.L., Rosenzweig, M.R., Lindner, B.: Qualitative synaptic changes with differential experience in rat brain. *Int. J. Neuroscience*, 2, 1971, 113-128
- Mooney, C.M.: Closure as affected by configural clarity and contextual consistency. *Can. J. Psychol.*, 11, 1957, 80-88 (a)
- Mooney, C.M.: Closure as affected by viewing time and multiple visual fixation. *Can. J. Psychol.*, 11, 1957, 21-28 (b)

- Mooney, C.M.: Recognition of symmetrical and non-symmetrical inkblots with and without eye movements. *Can. J. Psychol.*, 13, 1959, 11-19
- Mooney, C.M.: Recognition of novel visual configurations with and without eye movements. *J. exp. Psychol.*, 56, 1958, 133-138
- Mooney, C.M.: Recognition of ambiguous and unambiguous visual configurations with short and longer exposures. *Brit. J. Psychol.*, 51, 1960, 119-125
- Moray, N.: Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quart. J. exp. Psychol.*, 11. 1959, 56-60
- Moray, N.: Attention: Selective processes in vision and hearing. London: Hutchinson Educational 1969
- Morinage, S.: Beobachtungen über Grundlagen und Wirkungen anschaulich gleichmäßiger Breite. *A. ges. Ps.*, 110, 1942, 309-348
- Mowrer, O.H.: Preparatory set (expectancy) - some methods of measurement. *Psych. Monogr.*, 52, 1940, nr. 2
- Müller, G.E., Pilzecker, A.: Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Gedächtnis. *Z. Psychol.*, Erg.-Bd. 1, 1900
- Müller, G.E.: Zur Analyse der Gedächtnistätigkeit und des Vorstellungsverlaufs III. *Erg. Bd. 8 d. d. Z. Psychol.*
- Müller, G.E.: Abriß der Psychologie. Göttingen: Vandenhoeck 1924
- Müller, K.: Der Aufbau figural-optischer Phänomene bei sukzessiver Reizung. Frankfurt a. Main: Kramer 1963
- Müller, K.: Denken und Lernen als Organisieren. In: Bergius, R. (Ed.): *Hdb. d. Psychol.*, Bd. I/2 Göttingen: Hogrefe 1964, 118-146
- Murch, G.M. (ed.): *Studies in perception*. Indianapolis: Bobbs-Merrill 1976
- Murch, G.M., Woodworth, G.L.: *Wahrnehmung*. Stuttgart: Kohlhammer 1978
- Murdock, B., jr.: *Human memory: Theory and data*. New York: Wiley 1974

- Murray, D.J., Newman, F.M.: Visual and verbal coding in short-term memory. *J. exp. Psychol.*, 100, 1973, 58-62
- Musatti, C.L.: Forma e assimilazione. *Arch. ital. Psicol.*, 9, 1931, 61-155
- Myer, B.M., O'Connell, D.C.: Memory span: Effects of symbol orientation. *Psych. Sci.*, 28, 1972, 199-202
- Myers, R.E., Sperry, R.W.: Interhemispheric communication through the corpus callosum. *Arch. Neur. Psych.*, 80, 1958, 298-303
- Nagel, F.: Experimentelle Untersuchungen über die Grundfragen der Assoziationslehre. *A. ges. Ps.*, 23, 1912, 156-253
- Narasimhan, R., Reddy, V.S.N.: A generative model for handprinted English letters and its computer implementation. *ICC Bull.*, 6, 1967, 275-287
- Needham, J.G.: Prior entry within a single sense department. *J. exp. Psychol.*, 17, 1934, 400-411
- Neff, W.D.: Sensory discrimination. In: Field, J., Magoun, H.W., Hall, V.E. (eds.): *Handbook of Physiology*, Sect. 1: Neurophysiology, vol. III. Washington: Amer. Physiol. Soc., 1960
- Neisser, U.: Decision-Time without reaction-time. *Am J. Psychol.* 76, 1963, 376-385
- Neisser, U.: Visual search. *Sci. Amer.*, 210, 1964, 94-102
- Neisser, U.: *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts 1967
- Neisser, U.: *Cognition and reality. Principles and implications of cognitive Psychology*. San Francisco: Freeman 1976
- Neisser, U., Novick, R., Lazar, R.: Searching for ten targets simultaneously. *Percept. Mot. Ski*, 17, 1963, 955-961
- Neisser, U., Weene, P.: A note on human recognition of hand-printed characters. *Inf. & Contr.*, 3, 1960, 191-196
- Nickerson, R.S.: Short-term memory for complex meaningful visual configurations: a demonstration of capacity. *Can. J. Psychol.*, 19, 1965, 155-160

- Nickerson, R.S.: A note on long-term recognition memory for pictorial material. *Psych. Sci.*, 11, 1968, 58
- Norman, D.A.: Toward a theory of memory and attention. *Psych. Rev.*, 75, 1968, 522-536
- Norman, D.A. (ed.): *Models of human memory*. New York: Academic Press 1970
- Norman, D.A., Rumelhart, D.E.: A system for perception and memory. In: Norman, D.A. (ed.): *Models of human memory*. New York: Academic Press 1970
- Norman, D.A., Wickelgren, W.A.: Short-term recognition memory for single digits and pairs of digits. *J. exp. Psychol.*, 70, 1965, 479-489
- Norman, D.A., Wickelgren, W.A.: Strength theory of decision rules and latency in short-term memory. *J. Math. Psychol.*, 6, 1969, 192-208
- North, A.J.: Acquired distinctiveness of form stimuli. *J. comp. physiol. Psychol.*, 52, 1959, 339-341
- Oetjen, F.: Die Bedeutung der Orientierung des Lesestoffs für das Lesen und der Orientierung von sinnlosen Formen für das Wiedererkennen derselben. *Z. Psychol.*, 71, 1915, 321-355
- Ogden, R.M.: Untersuchungen über den Einfluß der Geschwindigkeit des lauten Lesens auf das Erlernen und Behalten von sinnlosen und sinnvollen Stoffen. *ges. Ps.*, 2, 1904, 93-189
- Olfield, R.C.: Memory mechanisms and the theory of schemata. *Brit. J. Psychol.*, 45, 1954, 14-23
- Olson, R.K.: Children's sensitivity to pictorial depth information. *Percept. Psychophys.*, 17, 1975, 59-64
- Orne, M.T.: Hypnotically induced hallucinations. In: West, L.J. (ed.): *Hallucinations*. New York: Grune & Stratton 1962
- Pachella, R.G.: The effect of set on the tachistoscopic recognition of pictures. In: Rabbit, P.M., Dornic, S. (eds.): *Attention and performance V*. London: Academic Press 1975, 136-156
- Parks, T.E.: Signal detectability theory and recognition memory performance. *Psych. Rev.*, 73, 1966, 44-58

- Parks, T.E., Kroll, N.E.A.: Enduring visual memory despite forced verbal rehearsal. *J. exp. Psychol.: Human Learning and Memory*, 1, 1975, 648-654
- Parks, T.E., Kroll, N.E.A., Salzberg, P.M., Parkinson, S.R.: Persistence of visual memory as indicated by decision time in a matching task. *J. exp. Psychol.* 92, 1972, 437-438
- Pauli, R.: Über eine Methode zur Untersuchung und Demonstration der Enge des Bewußtseins sowie zur Messung der Geschwindigkeit der Aufmerksamkeitswanderung. In: Külpe, O., Bühler, K.: *Münchener Studien zur Psychologie und Philosophie*, Bd. 1, Stuttgart 1914
- Pauli, R.: Über den experimentellen Nachweis der Enge des Bewußtseins. *Z. Biol.*, 92, 1932, 37-44
- Pauli, R., Arnold, W.: *Psychologisches Praktikum*, Bd. 1: Experimentelles Praktikum. Stuttgart: Fischer 1972
- Penfield, W.: *The excitable cortex of conscious man*. Liverpool: Liverpool University Press 1958
- Penfield, W.: Speech, perception and the uncommitted cortex. *Pontificiae Academiae Scientiarum, Scripta varia*, 30, 1965, 319-347
- Penfield, W.: *The mystery of the mind*. Princeton, H.J.: Princeton University Press 1975
- Pentschew, C.: Untersuchungen zur Ökonomie und Technik des Lernens. *ges. Ps.*, 1, 1903, 417-526
- Perky, .: Experimental study of imagination. *Am. J. Psychol.* 21, 1910, 422-452
- Perrine, M.W.: Die Bedeutung des Handelns für das Wahrnehmungslernen. *Z. exp. angew. Psychol.*, 8, 1961, 265-281
- Perrine, M.W.: Visuelle Wahrnehmung und design. *Output*, 2, 1962/3, 7-30
- Peter, R.: Untersuchungen über die Beziehung zwischen primären und sekundären Faktoren der Tiefenwahrnehmung. *A. ges. Ps.*, 34, 1915, 515-564
- Petermann, B.: Über die Bedeutung der Auffassungsbedingungen für die Tiefen- und Raumwahrnehmung. *A. ges. Ps.*, 46, 1924, 351-416

- Phillips, W.A.: On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Percept. Psychophys.*, 16, 283-290
- Phillips, W.A., Baddeley, A.D.: Reaction time and short-term visual memory. *Psych. Sci.*, 22, 1971, 73-74
- Phillips, W.A., Christie, D.F.: Components of visual memory. *Quart. J. exp. Psychol.*, 29, 1977, 117-133
- Piaget, J.: *Les mécanismes perceptifs*. Paris: Presses Universitaires de France 1961
- Piaget, J., Inhelder, B.: *Die Entwicklung des räumlichen Denkens beim Kinde*. Stuttgart: Klett 1971
- Piaget, J., Maire, F., Privat, F.: Recherches sur le développement des perceptions: XVIII. La résistance des bonnes formes à l'illusion de Mueller-Lyer. *Arch. Psych. (Genève)*, 34, 1954, 155-201
- Piaget, J., Stettler-von Albertini, B.: Recherches sur le développement des perceptions: XIX. Observations sur la perception des bonnes formes chez enfant par actualisation des lignes virtuelles. *Arch. Psych. (Genève)*, 34, 1954, 203-242
- Pick, A.D.: Improvement of visual and tactual form discrimination. *J. exp. Psychol.*, 69, 1965, 331-339
- Pick, A.D., Pick, H.L. jr., Hales, J.: Selective attention to words and colors. *Psych. Sci.*, 29, 1972, 85-87
- Piéron, H.: *L' evolution de la mémoire*. Paris 1910
- Piéron, H.: Recherches comparatives sur la mémoire des formes et celle des chiffres. *Ann. Psych.*, 21, 1914-1919, 119-148
- Pillsbury, W.B.: A study in apperception. *Am J. Psychol.*, 8, 1897, 315-393
- Pitts, W.H., McCulloch, W.S.: How we know universals: The perception of auditory and visual forms. *Bull. Math. Biophys.*, 9, 1947, 127-147
- Pohlmann, A.: *Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Gedächtnis*. Berlin 1906

- Polak, P.R., Emde, R.N., Spitz, R.A.: The smiling response to the human face. II. Visual discrimination and the onset of depth perception. *J. Nerv. Ment. dis.*, 139, 1964, 407-415
- Pollack, I.: The information of elementary auditory displays. *J. Acoust. Soc. Am.*, 54, 1952, 745-749
- Pollack, I.: The information of elementary auditory displays. II. *J. Acoust. Soc. Am.*, 25, 1953, 765-769 (a)
- Pollack, I.: The assimilation of sequentially encoded information. *Am. J. Psychol.*, 66, 1953, 421-435
- Pollack, I., Decker, L.R.: Confidence ratings, method reception, and the receiver operating characteristic. *J. Acoust. Soc. Am.*, 30, 1958, 286-292
- Pollack, I., Ficks, L.: Information of elementary multidimensional auditory displays. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2, 1954, 155-158
- Pollack, I., Norman, D.A.: A non-parametric analysis of recognition experiments. *Psych. Sci.*, 1, 1964, 125-126
- Pollen, D.A., Ronner, S.F.: Periodic excitability changes across the RF of complex cells in the striate and parastriate cortex of the cat. *J. Physiol. (London)*, 245, 1975, 667-697
- Pomerantz, J.R.: Pattern goodness and speed of encoding. *Memory & Cognition*, 5, 1977, 253-241
- Poppelreuter, W.: Die psychischen Schädigungen durch Kopfschütteln im Kriege 1914-16: Die Störungen der niederen und höheren Sehleistung durch Verletzung des Okzipitalhirns. Leipzig: Voss 1917
- Port, K.: Die Enge des Bewußtseins. Esslingen: Port 1955
- Posner, M.I., Keele, S.W.: Decay of visual information from a single letter. *Science*, 158, 1967, 137-139
- Posner, M.I., Konick, A.F.: Short-term retention of visual and kinesthetic information. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1, 1966, 71-86
- Postman, L.: The generalization gradient in recognition memory. *J. exp. Psychol.*, 42, 1951, 231-235

- Postman, L.: Association theory and perceptual learning. Psych. Rev., 62, 1955, 438-446
- Postman, L.: Perception and learning. In: Koch, S. (ed.): Psychology: A study of a science, vol. V. New York: McGraw-Hill 1963
- Postman, L., Rosenzweig, M.R.: Practice and transfer in visual and auditory recognition of verbal stimuli. Am. J. Psychol., 69, 1956, 209-226
- Potter, M.C., Levy, E.I.: Recognition memory for rapid sequence of pictures. J. exp. Psychol., 81, 1969, 10-15
- Price, R.H.: Effects of complexity, association value, and learning on the recognition of random shapes. Can. J. Psychol., 22, 1968, 388-398
- Pritchard, R.M.: Stabilized images on the retina. Sci. Amer., 204, 1961, 72-77
- Pritchard, R.M., Heron, W., Hebb, D.O.: Visual perception approached by the method of stabilized images. Can. J. Psychol., 14, 1960, 67-77
- Prokasy, W.F., Hall, J.F.: Primary stimulus generalization: Psych. Rev., 70, 1963, 310-322
- Radossawljewitch, P.: Das Behalten und Vergessen bei Kindern und Erwachsenen. Leipzig 1906
- Raser, G.A.: False recognition as a function of encoding dimension and lag. J. exp. Psychol., 93, 1972, 333-337
- Rausch, E.: Probleme der Metrik (Geometrisch. optische Täuschungen). In: Metzger, E. (Ed.): Hdb. d. Psychol., Bd. I/1. Göttingen: Hogrefe 1966, 776-865
- Razran, G.H.S.: Stimulus generalization of conditioned responses. Psych. Bull., 46, 1949, 337-365
- Reed, S.K.: Psychological processes in pattern recognition. New York: Academic Press 1973
- Reed, S.K., Angaram, A.J.: Struktural models and embedded figure difficulty for normal and retarded children. Percept. Mot. Ski., 35, 1972, 155-164

- Reeve, R.A., Hall, R.: The storage of physical and name properties in short-term visual memory. *Memory & Cognition*. 4, 1976, 6-10
- Reuther, F.: Beiträge zur Gedächtnisforschung. *Ps. St.*, 1, 1906, 4-101
- Richards, L.G.: "Vexierversuch" revisited: A reexamination of Goldiamond and Hawkins' experiment. *Am. J. Psychol.*, 86, 1973, 707-715 (a)
- Richards, L.G.: On perceptual and memory processes in the wordfrequency effect. *Am. J. Psycho-*, 86, 1973, 717-728 (b)
- Robinson, E.S., Heron, W.T.: Results of variations in length of memorized material. *J. exp. Psychol.*, 5, 1922, 428-448
- Robson, I.G.: Receptive fields: Neural representation of the spatial and intensive attributes of the visual image. In: Carterette, E.C., Friedman, M.P. (eds.): *Handbook of perception*, vol. V. New York: Academic Press 1975, 82-116
- Rock, I.: The orientation of forms on the retina and in the environment. *Am. J. Psychol.*, 69, 1956, 513-528
- Rock, I.: The nature of perceptual adaptation. New York: Basic Books 1966
- Rock, I.: An introduction to perception. New York: Macmillan 1975
- Rock, I., Halper, F., Clayton, T.: The perception and recognition of complex figures. *Cognit. Psych.*, 3, 1972, 355-373
- Rock, I., Heimer, W.: The effect of retinal and phenomenal orientation on the perception of form. *Am. J. Psychol.*, 70, 1957, 493-511
- Rock, I., Schauer, R., Halper, F.: Form perception without attention. *Quart. J. exp. Psychol.*, 28, 1976, 429-440
- Rohracher, H.: Einführung in die Psychologie. Wien: Urban & Schwarzenberg 1963⁸
- Rohracher, H.: Die Arbeitsweise des Gehirns und die psychischen Vorgänge. München: Barth 1967⁴

- Rollins, H.A., Thibadeau, R.: The effects of auditory shadowing on recognition of information received visually. *Memory & Cognition*, 1, 1973, 164-178
- Rosenblatt, F.: The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psych. Rev.*, 65, 1958, 386-408
- Rowe, E.J., Rogers, T.B.: Effects of concurrent auditory shadowing on free recall and recognition of pictures and words. *J. exp. Psychol.: Human Learning and Memory*, 1, 1975, 415-422
- Rubin, E.: *Visuell wahrgenommene Figuren*. Kopenhagen: Gyldendelske 1921
- Rudel, R.G., Teuber, H.-L.: Discrimination of direction of line in children. *J. comp. physiol. Psychol.*, 56, 1963, 892-898
- Rush, G.P.: Visual grouping in relation to age. *Archives of psychology*, 31, 1937, nr. 217
- Salapatek, P., Kessen, W.: Visual scanning of triangles by the human newborn. *J. exp. Child Psych.*, 3, 1966, 155-167
- Scarborough, D.L.: Memory for brief visual displays of symbols. *Cognit. Psych.*, 3, 1972, 408-429
- Schafer, R., Murphy, G.: The role of autism in a visual figureground relationship. *J. exp. Psychol.*, 32, 1943, 335-343
- Schaefer, T., Bernick, N.: Sensory deprivation and its effect on perception. In: Hoch, P.H.; Zubin, J. (eds.): *Psychopathology of perception*. New York: Grune & Stratton 1965
- Schenk-Danzinger, L.: *Handbuch der Legasthenie im Kindesalter*. Weinheim, Beltz 1968
- Schiebler, T.H.: *Lehrbuch der gesamten Anatomie des Menschen*. Berlin: Springer 1977
- Schiller, P.H., Stryker, M.: Single-unit recording and stimulation in superior colliculus of the alert rhesus monkey. *J. Neurophysiol.*, 35, 1972, 915-924
- Schnore, M.M., Partington, J.T.: Immediate memory for visual patterns: Symmetry and amount of information. *Psych. Sci.*, 8, 1967, 421-422

- Schober, H., Rentschler, I.: Optische Täuschungen in Wissenschaft und Kunst. Frankfurt: Zweitausendeins 1972
- Schöneberger, H.: Psychologie und Pädagogik des Gedächtnisses Leipzig: Nemnich 1911
- Schulze, H.: Kritische Untersuchungen zum Problem der Enge des Bewußtseins. In: Ach, N. (Hrsg.): Untersuchungen zur Psychologie, Philosophie und Pädagogik, Bd. Göttingen 1929
- Schulze, H.H., Baurichter, W., Gerling, W., Grobe, R.: Independent feature processing in the visual system: The effects of symmetry and distance of components. Psychol. Research, 39, 1977, 249-259
- Schumann, F.: Psychologie des Lesens: Ber. üb. d. II. Kongr. f. exp. Psychol. in Würzburg. Leipzig 1907, 153-183
- Scott, T.C., Henninger, L.L.: The relation between length and difficulty in motor learning; a comparison with verbal learning. J. exp. Psychol., 16, 1933, 657-678
- Scoville, W.B.: The limbic lobe in man. J. Neurosurg., 11, 1954, 64-66
- Scoville, W.B.: Amnesia after bilateral mesial temporal-lobe excision: introduction to case H.M.. Neuropsychologia, 6, 1968, 211-213
- Scoville, W.B., Milner, B.: Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. J. Neurol. Neuros. Psychiat., 20, 1957, 11-21
- Seashore, C.E.: Measurements of illusions and hallucinations in normal life. Studies from the Yale Psychological Laboratory, 31, 1895
- Secord, P.F., Backman, C.W.: Social Psychology. New York: McGraw-Hill 1964
- Sekuler, R.W., Houlihan, K.: Discrimination of mirror-images. Choice time analysis of human adult performance. Quart. J. exp. Psychol., 20, 1968, 204-207
- Selfridge, O.G.: Pandemonium: A paradigm for learning. In: The mechanisation of thought processes. London: H.M. Stationery Office 1959

- Selfridge, O.G., Neissen, U.: Pattern recognition by machine. Sci. Amer., 203, 60-68
- Senden, M. von: Raum- und Gestaltauffassung bei operierten Blindgeborenen vor und nach der Operation. Leipzig: Barth 1932
- Senders, J.: On the distribution of attention in a dynamic environment. In: Sanders, A. (ed.): Attention and performance. Amsterdam: North Holland 1967
- Senders, J.: The estimation of pilot workload. Res. Rep., Cambridge, Mass.: Bolt, Beranek & Newman 1966
- Shaffer, L.H.: Multiple attention in continuous verbal tasks. In: Rabbit, P.M.A., Dirnic, S. (eds.): Attention and performance V. New York: Academic Press 1975, 157-167
- Shaffer, W.O., Shiffrin, R.M.: Rehearsal and storage of visual information. J. exp. Psychol., 92, 1972, 292-296
- Shannon, C.E.: A mathematical theory of communication. Bell. Syst. Techn. J., 27, 1948, 379-423, 623-656
- Shannon, C.W., Weaver, W.: The mathematical theory of communication. Urbana: Univ. of Illinois Press 1949
- Shepard, R.N.: Recognition memory for words, sentences and pictures. J. Verb. Learn., 6, 1967, 156-163
- Shepard, R.N., Metzler, R.J.: Mental rotation of three-dimensional objects. Science, 171, 1971, 701-703
- Shepard, R.N., Teghtsoonian, M.: Retention of information under conditions approaching a steady state. J. exp. Psychol., 62, 1961, 302-309
- Shiffrin, R.M., Gardner, G.T.: Visual processing capacity and attentional control. J. exp. Psychol., 93, 1972, 72-82
- Shiffrin, R.M., Gardner, G.T., Allmeyer, D.H.: On the degree of attention and capacity limitations in visual processing. Percept. Psychophys., 14, 1973, 231-236
- Shroff, E.: Über Gestaltauffassung bei Kindern im Alter von 6 bis 14 Jahren. Psych. Forsch., 11, 1928, 235-266
- Shurtleff, D.A., Marsetta, M.Y.: Visual search in a letter-cancelling task re-examined. J. exp. Psychol., 77, 1968, 19-23

- Siegel, A.I.: Deprivation of visual form definition in the ring dove. I. Discriminatory learning. J. comp. physiol. Psychol., 46, 1953, 115-119 (a)
- Siegel, A.I.: Deprivation of visual form definition in the ring dove. II. Perceptual-motor transfer. J. comp. physiol. Psychol., 46, 1953, 249-252 (b)
- Siipola, E.M.: A group study of some effects of preparatory set. Psych. Monogr., 46, 1935, nr. 210, 27-38
- Silverman, A.J., Cohen, S.J., Bressler, B., Shmavonian, B.M., Slack, C.W.: Familiar size as a cue to distance in the presence of conflicting cues. J. exp. Psychol., 52, 1956, 194-198
- Smith, K.U.: Visual discrimination in the cat: V. The post-operative effects of removal of the striate cortex upon intensity discrimination. J. Gen. Ps. 51, 1937, 329-369
- Smith, G.J.W.: Cognitive controls in temporal behavior patterns. Am. Psychol., 7, 1952, 322
- Solomon, P., Mendelson, J.: Hallucinations in sensory deprivation. In: West, L.J. (ed.): Hallucinations. New York: Grune & Stratton 1962
- Solomon, R.L.: Visual duration thresholds as a function of experimentally controlled verbal frequency. Paper read at E.P.A. meetings, Spring 1951 (zitiert nach Solomon & Howes, 1951)
- Solomon, R.L., Howes, D.H.: Word frequency, personal values and visual duration thresholds. Psych. Rev., 58, 1951, 256-270
- Solomon, R.L., Postman, L.: Frequency of usage as a determinant of recognition thresholds for words. J. exp. Psychol., 43, 1952, 195-201
- Smith, W.G.: The place of repetition in memory. Psych. Rev. 1896, 21-31
- Spelke, E., Hirst, W., Neisser, U.: Skills of divided attention. Cognition, 4, 1976, 215-230
- Sperling, G.: The information available in brief visual presentations. Psych. Monogr., 74, nr. 11 (whole nr. 498)
- Sperling, G.: A model for visual memory tasks. Hum. Factors 5, 1963, 19-31

- Sperling, G.: Successive approximations to a model for short-term memory. *Acta Psychol.*, 27, 1967, 285-292
- Spielberger, C.D.: The role of awareness in verbal conditioning. In: Eriksen, C.W. (ed.): *Behavior and awareness*. Durham, N.C.: Duke University Press 1962
- Stamm, J.S.: Electrical stimulation of frontal cortex in monkeys during learning of an alternation task. *J. Neurophysiol.*, 24, 1961, 414-426
- Standing, L.: Learning 10000 pictures. *Quart. J. exp. Psychol.*, 25, 1973, 207-222
- Standing, L., Conezio, J., Haber, R.N.: Perception and memory for pictures: single-trial learning of 2560 visual stimuli. *Psych. Sci.*, 19, 1970, 73-74
- Stechler, G., Bradford, S., Levy, L.: Attention in the newborn: Effect on motility and skin potential. *Science*, 151, 1966, 1246-1248
- Steffens, L.: Experimentelle Beiträge zur Lehre vom ökonomischen Lernen. *Z. Psychol.*, 22, 1900, 321-382
- Steinbuch, K.: *Automat und Mensch*. Berlin: Springer 1961
- Sternberg, S.: High-speed scanning in human memory. *Science*, 153, 1966, 652-654
- Sternberg, S.: Two operations in character recognition: Some evidence from reaction time measurements. *Percept. Psychophys.*, 2, 1967, 45-53
- Stevens, R., Cowey, A.: Visual discrimination learning and transfer in rats with hippocampal lesions. *Quart. J. exp. Psychol.*, 26, 1974, 582-593
- Stone, J., Dreher, B.: Projektion of x- and y-cells of the cat's lateral geniculate nucleus to areas 17 and 18 of visual cortex. *J. Neurophysiol.*, 36, 1973, 551-567
- Stratton, G.M.: Some preliminary experiments on vision without inversion of the retinal image. *Psychol. Rev.*, 3, 1896, 611-617
- Stratton, G.M.: Vision without inversion of the retinal image. *Psych. Rev.*, 4, 1897, 341-360; 463-481

- Stratton, G.M.: Eye-movements and the aesthetics of visual form. *Philosophische Studien*, 20, 1902, 336-359
- Stratton, G.M.: Symmetry, linear illusions, and the movement of the eye. *Psych. Rev.*, 13, 1906, 82-96
- Stroop, J.R.: Studies of interference in serial verbal reactions. *J. exp. Psychol.*, 18, 1935, 643-661
- Stumpf, C.: Erscheinungen und psychische Funktionen. *Abh. d. Preuß. Akad. d. Wissensch.* 1906
- Stumpf, C.: Empfindung und Vorstellung. *Abh. d. Preuß. Akad. d. Wissensch.* 1918
- Süllwold, F.: Gedächtnistätigkeit und Vorstellungsverlauf. I. Bergius, R. (Ed.): *Hdb. d. Psychol.*, I/2. Göttingen: Hogrefe 1964
- Sutherland, N.S.: Visual discrimination of orientation and shape by octopus. *Nature*, 179, 1957, 11-13
- Sutherland, N.S.: Stimulus analyzing mechanisms. In: *The mechanization of thought processes*. London: H.M. Stationery Office 1959
- Sutherland, N.S.: The methods and findings of experiments on the visual discrimination of shape by animals. Oxford, England: *Ecp. Psychol. Soc.* 1961
- Sutherland, N.S.: Cat's ability to discriminate oblique rectangles. *Science*, 139, 1963, 209-210 (a)
- Sutherland, N.S.: Shape discrimination and receptive fields. *Nature*, 197, 1963, 118-122 (b)
- Sutherland, N.S.: Outlines of theory of pattern recognition in animals and man. *Proc. R. Soc. Lond. Series* 171, 1968, 297-317
- Sutherland, N.S.: Object recognition. In: Carterette, E.C., Friedman, M.P. (eds.): *Handbook of perception*, vol. 3. New York: Academic Press 1973
- Sutherland, N.S., Bowman, R.: Discrimination of circles and squares with and without knobs by goldfish. *Quart. J. exp. Psychol.*, 21, 1969, 330-338
- Sutherland, N.S., Williams, C.: Discrimination of checkerboard patterns by rats. *Quart. J. exp. Psychol.*, 21, 1969, 77-84

- Swets, J.A. (ed.): Signal detection and recognition by human observers: Contemporary readings. New York: Wiley 1964
- Swets, J.A., Kristofferson, A.B.: Attention. *Ann. Rev. Psychol.*, 21, 1970, 339-366
- Swets, J.A., Tanner, W.P., jr., Birdsall, T.G.: Decision processes in perception. *Psych. Rev.*, 68, 1961, 301-340
- Talbot, S.A., Marshall, W.H.: Neural mechanisms of visual localisation. *Am. J. Ophth.*, 24, 1941, 1255-1263
- Tanner, W.P., jr., Swets, J.A.: A decision making theory of visual detection. *Psych. Rev.*, 61, 1954, 401-409
- Teuber, H.-L.: Perception. In: Field, J., Magoun, H.W., Hall, V.E. (eds.): *Handbook of Physiology*, sect. 1: Neurophysiology, vol. III. Washington: American Physiological Society 1960
- Teuber, H.-L.: Perception after brain injury. In: Eccles, J.C. (ed.): *Brain and conscious experience*. New York: Springer 1966
- Teuber, H.-L., Battersby, W.S., Bender, M.B.: Visual field defects after penetrating missile wounds of the brain. Cambridge: Harvard Univ. Press 1960
- Thouless, R.: The experience of "upright" and "upside-down" in looking at pictures. *Miscell. Psychol.* Albert Michotte, 1947, 130
- Thurstone, L.L.: The relation between learning time and length of task. *Psychol. Rev.*, 37, 1930, 44-53
- Tinbergen, H.: *Instinktlehre*. Berlin: Parex 1966
- Titchener, E.B.: *Lectures on the elementary psychology of feeling and attention*. New York: Macmillan 1908
- Tow, P.M.: *Personality changes following frontal leucotomy*. London: Oxford Univ. Press 1955
- Trabasso, T.R.: Stimulus emphasis and all-or none learning in concept identification. *J. exp. Psychol.*, 65, 1963, 398-406
- Treisman, A.M.: *Attention and speech*. Unpublished doctoral thesis, University of Oxford

- Treisman, A.M.: Monitoring and storage of irrelevant messages in selective attention. *J. Verbal Learn.*, 3, 1964, 449-459
- Treisman, A.M., Fearnley, S.: The Stroop test: Selective attention to colours and words. *Nature*, 222, 1969, 437-439
- Turvey, M.T.: On peripheral and central processes in vision: Interferences from an information-processing analysis of masking with patterned stimuli. *Psychol. Rev.*, 80, 1973, 1-52
- Turvey, M.T., Kravetz, S.: Retrieval from iconic memory with shape as the selection criterion. *Percept. Psychophys.*, 8, 1970, 171-172
- Tversky, B.: Eye fixations in prediction of recognition and recall. *Memory & Cognition*, 2, 1974, 275-278
- Tversky, B., Sherman, T.: Picture memory improves with longer on time and off time. *J. exp. Psych.: Human Learning and Memory*, 1, 1975, 114-118
- Tyler, J., Hardy, R.C.: Effects of age and sex on the acquisition of form discrimination. *Alberta J. Educ. Res.*, 23, 1977, 1-10
- Uexküll, J. von, Kriszat, G.: Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen - Bedeutungslehre. Frankfurt a. Main: Fischer: Reihe *Conditio humana* 1970
- Uhr, L.: "Pattern recognition" computers as models for form perception. *Psych. Bull.*, 60, 40-73
- Uhr, L.: Pattern recognition, learning, and thought. Prentice Hall, N.J.: Englewood Cliffs 1973
- Underwood, G.: Moray vs. the rest: The effects of extended shadowing practice. *Quart. J. exp. Psychol.*, 26, 1974, 368-372
- Uttal, W.R.: An autocorrelation theory of form detection. New York: Wiley 1975
- Uttley, A.M.: The classification of signals in the nervous system. *Eeg clin. Neurophys.*, 6, 1954, 479-494
- Uttley, A.M.: Temporal and spatial patterns in a probability machine. In: Shannon, C.E., McCarthy, J. (eds.) *Automata studies*. Princeton, N.J.: Princeton Univ. Press 1956, 277-285

- Valverde, F.: Apical dendritic spines of the visual cortex and light deprivation in the mouse. *Exp. Brain Res.*, 3, 1967, 337-352
- Vanderplas, J.M., Garvin, E.A.: Complexity, association value, and practice as factors in shape recognition following paired-associate training. *J. exp. Psychol.*, 57, 1959, 155-163
- Vernon, J.A., McGill, T.E.: Sensory deprivation and hallucinations. In: West, L.J. (ed.): *Hallucinations*. New York: Grune & Stratton 1962
- Vernon, M.D.: *Wahrnehmung und Erfahrung*. Köln: Kiepenheuer & Witsch 1974
- Waldeyer, A.: *Anatomie des Menschen*, II. Berlin: De Gruyter 1975
- Wallach, H., O'Connell, D.N., Neisser, U.: The memory effect of visual perception of threedimensional form. *J. exp. Psychol.*, 45, 1953, 360-368
- Warrington, E.K.: Deficient recognition memory in organic amnesia. *Cortex*, 10, 289-291
- Warrington, E.K., Taylor, A.M.: Immediate memory for faces: Long or short-term memory? *Quart. J. exp. Psychol.*, 25, 316-322
- Warrington, E.K., Weiskrantz, L.: Amnesic syndrome: Consolidation or retrieval? *Nature*, 228, 1970, 628-630
- Warrington, E.K., Weiskrantz, L.: Organisational aspects of memory in amnesic patients. *Neuropsychologia*, 9, 1971, 67-73
- Wattenbarger, B.L.: Speed and accuracy set in visual search performance. Paper presented at the meeting of the Midwestern Psychological Association, Chicago 1968 (zitiert nach Kristofferson, 1972 b)
- Waugh, N.C.: Length of series and the learning curve. *Am. J. Psychol.*, 75, 1962, 177-192
- Waugh, N.C.: Presentation time and free recall. *J. exp. Psychol.*, 73, 1967, 39-44
- Waugh, N.C., Norman, D.A.: Primary memory. *Psych. Rev.*, 72, 1965, 89-104

- Weaver, G.E.: Effects of poststimulus study time on recognition of pictures. *J. exp. Psychol.*, 103, 1974, 799-801
- Weber, J.: Untersuchungen zur Psychologie des Gedächtnisses. *Z. Exp. Päd.*, 8, 1909, 67 ff.
- Weiner, M.: Perceptual development in a distorted room: A phenomenological study. *Psych. Monogr.*, 70, 1956, nr. 16
- Weiskrantz, L.: Contour discrimination in a young monkey with striate cortex ablation. *Neuropsychologia*, 1, 1963, 145-165
- Weiskrantz, L., Mihailovic, C. Gross, C.G.: Stimulation of frontal cortex and delayed alternation performance in the monkey. *Science*, 131, 1960, 1443-1444
- Well, A.D., Green, J.: Effects of color differences in a letter matching task. *Psych. Sci.*, 29, 1922, 109-110
- Werblin, F.S.: The control of sensitivity in the retina. *Sci. Amer*, 228, 1973, 71-79
- Werner, H., Wapner, S.: Sensory-tonic field theory of perception. In: Bruner, J.S., Krech, D. (eds.): *Perception and personality: A symposium*. Durham, N.C. 1950, 88-107. Repr.: New York: Greenwood Press 1968⁹
- Wertheimer, M.: Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II. *Psych. Forsch.*, 4, 1923, 301-350
- Wertheimer, M.: Hebb and Senden on the role of learning in perception. *Am. J. Psychol.*, 64, 1951, 133-137
- Wertheimer, M.: Psychomotor coordination of auditory-visual space at birth, *Science*, 134, 1961, 1692
- West, R.W., Greenough, W.T.: Effect of environmental complexity on cortical synapses of rats: Preliminary results. *Beh. Biol.*, 7, 1972, 279-284
- White, B.L., Castle, P., Held, R.: Observations on the development of visually-directed reaching. *Child Dev.*, 35, 1964, 349-364

- Wickelgren, W.A.: Sparing of short-term memory in a mnesic patient: Implications for strength theory of memory. *Neuropsychologia*, 6, 1968, 235-244
- Wickelgren, W.A.: Multitrace strength theory. In: Norman, D.A. (ed.): *Models of human memory*. New York: Academic Press 1970, 65-102
- Wickelgren, W.A.: Coding, retrieval, and dynamics of multi-trace associative memory. In: Gregg, L.W. (ed.): *Cognition, learning and memory*. New York: Wiley 1972 (a)
- Wickelgren, W.A.: Trace resistance and the decay of long-term memory. *J. Math. Psych.*, 9, 1972, 418-455 (b)
- Wickelgren, W.A.: The long and the short of memory. In: Deutsch, D., Deutsch, J.A. (eds.): *Short-term memory*. New York: Academic Press 1975 (a)
- Wickelgren, W.A.: More on the long and short of memory. In: Deutsch, D., Deutsch, J.A. (eds.): *Short-term memory*. New York: Academic Press 1975 (b)
- Wickelgren, W.A., Norman, D.A.: Strength models and serial position in short-term recognition memory. *J. Math. Psych.*, 2, 1966, 316-347
- Wickens, D.D., Moody, M.: Lack of memory for nonattended items in dichotic listening. *J. exp. Psychol.: Human Learning and Memory*, 2, 1976, 712-719
- Wiesel, T.N., Hubel, D.H.: Effects of visual deprivation on morphology and physiology of cells in the cat's lateral geniculate body. *J. Neurophysiol.*, 26, 1963, 978-993 (a)
- Wiesel, T.N., Hubel, D.H.: Single-cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. *J. Neurophysiol.*, 26, 1963, 1003-1017 (b)
- Wiesel, T.N., Hubel, D.H.: Comparison of the effects of unilateral and bilateral eye closure on cortical unit responses in kittens. *J. Neurophysiol.*, 28, 1965, 1029-1040 (a)
- Wiesel, T.N., Hubel, D.H.: Extent of recovery from the effects of visual deprivation in kittens. *J. Neurophysiol.*, 28, 1965, 1060-1072 (b)

- Wilcocks, R.W.: An examination of Külpe's experiments on abstraction. *Am. J. Psychol.*, 36 1925, 324-341
- Wilcox, W.W.: Helson and Fehrer on the role of form in perception. *Am. J. Psychol.*, 44, 1932, 578-580
- Williams, C.: The effect of an irrelevant dimension on "same-different" judgements of multi-dimensional stimuli. *Quart. J. exp. Psychol.*, 26, 1974, 26-31
- Wilton, R.N., File, P.E.: The representation of spatial information in memory. *Quart. J. exp. Psychol.*, 29, 1977, 383-388
- Winer, B.J.: Statistical principles in experimental design. New York: McGraw-Hill 1962
- Witasek, S.: Über Lesen und Rezitieren in ihren Beziehungen zum Gedächtnis. *Z. Psychol.*, 44, 1907, 161-185, 246-282
- Wolff, P.H., White, B.L.: Visual pursuit and attention in young infants. *J. Am. Acad. Child Psychiat.*, 4, 1965, 473-484
- Woodring, A.V., Alluisi, E.A.: Effects of choice-figure rotation on the visual perception of form. *Psych. Sci.*, 4, 1966, 403-404
- Woodrow, H.: The measurement of attention. *Psych. Monogr.*, 17, 1914, nr. 76
- Woodrow, H.: Outline as a condition of attention. *J. exp. Psychol.*, 1, 1916, 23-39
- Woodworth, R.S.: Experimental psychology. New York: Holt, Rinehart & Winston 1938
- Wright, J.M. von: Selection in immediate visual memory. *Quart. J. exp. Psychol.*, 20, 1968, 62-68
- Wright, J.M. von: On selection in visual immediate memory. *Acta Psychol.*, 33, 1970, 280-292
- Wundt, W.: Grundzüge der physiologischen Psychologie. Leipzig Engelmann 1903
- Wundt, W.: Grundriß der Psychologie. Leipzig: Engelmann 1907
- Yarbus, A.L.: Eye movements and vision. New York: Plenum Press 1967

- Yonas, A., Gibson, E.J.: A developmental study of feature-processing strategies in letter discrimination. Paper presented at Eastern Psychological Association, Boston, April 1967
- Yonas, A., Pittenger, J.: Searching for many targets: An analysis of speed and accuracy. *Percept. Psychophys.*, 13, 1973, 513-516
- Zeigler, H.P., Schmerla, S.: Visual discrimination by pigeons. *Anim. Behav.*, 13, 1965, 475-477
- Zusne, L.: Visual perception of form. New York: Academic Press 1970
- Zusne, L., Michels, K.M.: Geometricity of visual form. *Percept. Mot. Ski.*, 14, 1962, 147-154 (a)
- Zusne, L., Michels, K.M.: More on the geometricity of visual form. *Percept. Mot. Ski.*, 15, 1962, 55-58
- Zusne, L., Michels, K.M.: Nonrepresentational shapes and eye movements. *Percept. Mot. Ski.*, 18, 1964, 11-20

L e b e n s l a u f

Ich wurde am 13. 1. 1944 in Kufstein/Tirol geboren. Nach vierjährigem Besuch der Volksschule in Rosenheim trat ich in das Humanistische Gymnasium Tegernsee ein, wo ich neun Jahre später im Jahre 1963 das Abitur ablegte. Anschließend begann ich, an der Universität München Mathematik und Physik zu studieren, brach dieses Studium aber nach einem Semester ab und wechselte in das Fach Psychologie über. Nach zehn Fachsemestern legte ich hier im Sommer 1969 die Diplomprüfung ab. In den folgenden Jahren arbeitete ich zunächst als Erzieher in einem Internat, war dann als wissenschaftlicher Begleiter eines Forschungsprogramms im Staatlichen Institut für Frühpädagogik tätig und unterrichtete nunmehr seit 1977 Psychologie und Pädagogik an der Staatlichen Fachoberschule in Rosenheim.

Die hier vorliegende Dissertation wurde Anfang 1974 unter der Leitung von Prof. Dr. Kurt Müller in Angriff genommen und im August 1979 fertiggestellt.

Im Rahmen meiner akademischen Ausbildung belegte ich Vorlesungen, Seminare und Übungen bei folgenden Dozenten:

- In der Psychologie (Hauptfach): Lersch, Bergius, Lückert, Lukasczyk, Zellinger, Hofmarksrichter, Müller, Mayer, Goerres, Wagner, Matussek, Mikorey, Brengelmann, Butollo, Wulsten, Elhardt, Brandstätter, Ulich, Heinhold, Kunkel, Houben, Bischof, Schroeder, Waldenfels, von Rosenstiel.
- In der Philosophie (1. Nebenfach): Seidl, Krings, Stegmüller, Müller, Dempf, Konrad, Varga von Kibed, Neuhäusler, Schulze-Sölde, Schilling, Heiler, Leist, Kuhn, Zimmermann, Drieschner, Puntel, Knappe, Röd, Essler.
- In der Zoologie (2. Nebenfach): Renner, Bruckmoser, Linzen, Barth, Treff, Niemer, Autrum, Lorenz, Eibl-Eibesfeldt, Saller, Schwarzfischer, Zieglmayer, Becker, Schneider, Kaißling, Haendle, Kolb, Murken, Cleve.

Rosenheim, im März 1980

H.P.

